



**Wiesel-Habitatvernetzung in neuem Licht:  
Ein Ansatz zur Erfassung von Kleinstrukturen mittels LiDAR**

Bachelorarbeit

von

**Inauen Josua**

Bachelorstudiengang 2016

Studienrichtung Umweltingenieurwesen

Abgabedatum: 02. Juli 2020

Fachkorrektoren:

Ratnaweera, Nils

Dr. Junghardt, Johann

ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Grüntalstrasse 14

8820 Wädenswil

## Impressum

Zitiervorschlag:

Inauen, J. (2020): Wiesel-Habitatvernetzung in neuem Licht: Ein Ansatz zur Erfassung von Kleinstrukturen mittels LiDAR, Bachelorarbeit (unveröffentlicht), ZHAW, Wädenswil

Titelbild:

LiDAR-Darstellung eines Asthaufens auf dem Areal des Campus Grüental, gelb eingefärbt.  
swissSURFACE3D Daten (2018)

Schlagworte:

Fernerkundung, LiDAR, Objekterkennung, Kleinstrukturen, Asthaufen, Wiesel

ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Life Science und Facility Management

Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen (IUNR)

Grüental

8820 Wädenswil (CH)

## **Zusammenfassung**

In dieser Arbeit wurde anhand eines Vergleiches eines LiDAR- mit einem Vektor-Referenzdatensatz die Praktikabilität von Laserscanning-Daten für die Erhebung von Kleinstrukturen im Kontext von Wieselförderprojekten eingeschätzt. Durch eine visuelle Gegenüberstellung wurde ermittelt, ob die im Feld erfassten Asthaufen (Referenzdaten) im LiDAR-Datensatz abgebildet werden. Zudem wurde auf Basis bereits bestehender Modelle ein Tool zur Extraktion von Asthaufen aus einem LiDAR-Datensatz erarbeitet. Das Tool basiert auf der Berechnung mehrerer Attribute von aus LiDAR-Daten abgeleiteten Geländemodellen. Nach der Exklusion irrelevanter Flächen wie Siedlungsgebiet, Strassen und Wasserflächen werden vom Tool anhand heuristisch ermittelter Grenzwerte bezüglich Höhe, Fläche, Steigung, Expositionsdiversität und Kompaktheit potenzielle Asthaufen extrahiert und in einem Vektorformat ausgegeben. Die Ergebnisse zeigen, dass LiDAR sich gut dafür eignet, natürliche Kleinstrukturen wie Asthaufen zu erfassen und zu extrahieren. Über 83 % der Asthaufen waren im LiDAR-Datensatz erkennbar. Das Tool erreichte eine Trefferquote von ca. 64 %. Die Arbeit liefert einen gut umsetzbaren Ansatz zur Generierung räumlicher Daten ökologischer Kleinstrukturen, welche heute nur spärlich verfügbar sind und für unterschiedliche Vernetzungsprojekte und Habitatmodellierungen interessant sein könnten.

## **Abstract**

In this work, the practicability of laser scanning data for the survey of small structures in the context of weasel conservation projects was assessed by comparing a LiDAR and a vector reference data set. A visual comparison was used to determine whether the piles of branches (reference data) captured in the field are present in the LiDAR data set. In addition, a tool for extracting brush piles from a LiDAR data set was developed based on existing models. The tool is based on the calculation of several attributes of terrain models derived from LiDAR data. After the exclusion of irrelevant areas such as settlement areas, roads and water areas, the tool extracts potential piles of branches and outputs them in a vector format using heuristically determined limit values for height, area, slope, exposure diversity and compactness. The results show that LiDAR is well suited for the detection and extraction of small natural structures such as piles of branches. Over 83% of the reference data points were detectable in the LiDAR data set. The tool achieved a hit rate of about 64 %. The work provides a well implementable approach for the generation of spatial data of ecological small structures, which are only sparsely available today and could be interesting for different ecological connectivity projects and habitat modelling.

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	3
Abstract .....	4
1 Einleitung .....	6
2 Theorieteil .....	7
2.1 Wiesel .....	7
2.1.1 Biologie .....	7
2.1.2 Lebensraumansprüche .....	9
2.1.3 Schutzstatus und Gefährdungen .....	9
2.1.4 Fördermassnahmen und Kleinstrukturen .....	10
2.2 LiDAR in der Fernerkundung .....	12
2.2.1 Technische Grundlagen .....	12
2.2.2 Anwendungsgebiete und Objekterkennungsmethoden .....	14
3 Material und Methoden .....	16
3.1 Datengrundlage und Untersuchungsgebiet .....	16
3.2 Software und technisches Setup .....	19
3.3 Qualitative Datenanalyse .....	19
3.4 Tool Erarbeitung .....	21
3.4.1 Vorprozessierung und Berechnung digitales Geländemodell .....	22
3.4.2 Freistehende Asthaufen «detached» .....	27
3.4.3 Überdeckte Asthaufen «covered» .....	36
4 Ergebnisse .....	39
4.1 Qualitative Datenanalyse .....	39
4.2 Tool «constrained LAS to piles» .....	39
5 Diskussion .....	43
5.1 Qualitative Analyse .....	43
5.2 Tool .....	43
6 Schlussfolgerung .....	50
Literaturverzeichnis .....	51
Abbildungsverzeichnis .....	56
Tabellenverzeichnis .....	58
Anhangsverzeichnis .....	59

# 1 Einleitung

Bisher konnten die Mobilitätsansprüche von Kleinraubtieren (z. B. den Wieselarten) kaum in deren Habitatmodellen berücksichtigt werden. Beispielsweise beruht das Habitatmodell, welches im Projekt «Wiesel & Co am Zimmerberg» ([wieselundco.ch/LRA](http://wieselundco.ch/LRA)) als Grundlage für Lebensraumaufwertungen genutzt wird, hauptsächlich auf Daten zur landwirtschaftlichen Nutzungsform (Ratnaweera, 2015). Grund dafür ist, dass die natürlichen Kleinstrukturen, die im Wesentlichen die Mobilität der Kleinraubtiere ermöglichen, in herkömmlichen Geodaten nur teilweise vorhanden sind. Dies hat sich mit der Erhebung der kantonalen LiDAR Daten geändert: Mit diesen Laserscanning Daten kann die Vegetationshöhe (und somit auch das Vorhandensein von Kleinstrukturen) sehr gut approximiert werden. Dies wurde in einer kleinen Machbarkeitsstudie [Proof of Concept] im Rahmen eines Mastermoduls bereits geprüft (Scherl, 2018). Die voraussichtlich periodische, schweizweite Erfassung dieser Laserscanning Daten weist somit ein grosses Potenzial auf.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, anhand eines Vergleichs eines LiDAR- mit einem Vektor-Referenzdatensatz die Praktikabilität von Laserscanning-Daten für die Erhebung von Kleinstrukturen im Kontext von Wieselförderprojekten einzuschätzen. Einerseits sollte durch eine simple, visuelle Gegenüberstellung der beiden Datensätze ermittelt werden, ob die im Feld erfassten Kleinstrukturen im LiDAR-Datensatz abgebildet werden. Andererseits sollte ein halbautomatisiertes Tool erarbeitet werden, welches auf der Basis von LiDAR Daten für Wiesel relevante Kleinstrukturen identifizieren und als klassische GIS Features extrahieren kann. Da während des Förderprojekts «Wiesel & Co am Zimmerberg» vorwiegend Asthaufen angelegt wurden, beschränkte man sich auf diese Objektart. Im Vordergrund der Arbeit stand somit die Objekterkennung bzw. die Klassifizierung von Asthaufen entsprechend ihrer Charakteristika sowie deren Extraktion. Aus der Zielsetzung leiten sich folgende Forschungsfragen ab: *Werden Asthaufen in einem LiDAR-Datensatz abgebildet? Können Strukturen für Kleinraubtiere aus LiDAR-Daten extrahiert werden?*

## 2 Theorieteil

In diesem Kapitel werden die zwei in der Schweiz vorkommenden Wieselarten mit ihren Lebensraumsansprüchen vorgestellt. Zudem werden kurz die Grundlagen und einige Anwendungsgebiete von LiDAR, sowie mehrere Objekterkennungsmethoden dargelegt.

### 2.1 Wiesel

Die Bezeichnung Wiesel wird in Mitteleuropa gleichermassen für das Mauswiesel (*Mustela nivalis*), als auch für das Hermelin (*Mustela erminea*), verwendet. Sie stammen aus der Gattung *Mustela* in der etwa 70 Arten umfassenden Familie der Marder (*Mustelidae*) (King & Powell, 2006). Diese Arbeit bezieht sich thematisch vorrangig auf diese beiden Arten, jedoch profitieren von ökologischen Fördermassnahmen auch andere Artengruppen.

#### 2.1.1 Biologie

Wiesel sind die kleinsten in der Schweiz heimischen Raubtiere (*Carnivora*) und auf die unterirdische Jagd von Wühlmäusearten spezialisiert (Boschi et al., 2018). Charakteristisch für Mitglieder der Marderfamilie ist ein länglicher, schmaler Körper mit kurzen Beinen; eine Anpassung an ihre Beute, welche sich in engen Mäusegängen oder unter dem Schnee bewegt. Das Mauswiesel und das Hermelin ähneln sich auf den ersten Blick, wobei das Mauswiesel eine deutlich geringere Körpergrösse aufweist. Je nach Region variiert jedoch die Körpergrösse der beiden Wieselarten. Weitere Unterscheidungsmerkmale sind die ungleichmässige Trennlinie des Fells zwischen hellem Bauch und braunen Rücken beim Mauswiesel sowie vor allem die schwarze Schwanzspitze beim Hermelin (Abb. 1 und 2). Ausserdem wechselt dessen Fellfarbe im Winter auf Weiss, während dies beim Mauswiesel nur selten vorkommt (King & Powell, 2006).



Abb. 1: Hermelin, © F. Grazioli



Abb. 2: Mauswiesel, © R. Rodrigues

In das Wiesel-Beuteschema fallen hauptsächlich Wühlmäuse. Darüber hinaus können auch andere kleine Säugetiere, Vögel, Wirbellose und Früchte das Nahrungsspektrum ergänzen (King & Powell, 2006). Neben grösseren Schermausarten wie der Bergschermaus jagt das Hermelin gelegentlich auch grössere Beute wie Ratten oder Kaninchen. Hauptbeutetiere des Mauswiesels sind hingegen kleinere Säuger wie die Feld- oder Erdmaus (Müri, 2015).

Wiesel sind perfekt an die Jagd auf Kleinnager in dunklen, engen Tunnels angepasst. Die kurzen Beine erlauben ihnen, sich effizient in Gängen fortzubewegen, während der lange Hals dazu dient, Beute tragen zu können, ohne zu stolpern. Der ausgeprägte Hör- und Geruchssinn hilft ihnen, Beutetiere unterirdisch aufzuspüren. Ein scharfer Sehsinn ermöglicht die Jagd bei hellem Tageslicht. Nach dem Aufspüren der Beute wird sie nach einer kurzen Verfolgungsjagd meist mit einem Nackenbiss getötet. Die Körpergrösse sowie die Anpassungen des Körperbaus an die unterirdische Jagd bringen auch Nachteile mit sich. Das grosse Verhältnis von Oberfläche zu Gewicht ist physiologisch sehr ineffizient. Wiesel benötigen viel Nahrung, bloss um ihre Körpertemperatur aufrecht zu erhalten, vor allem im Winter oder bei der Aufzucht ihrer Jungen. Wiesel sind deshalb auf gut isolierte Unterschlüpfte angewiesen. Dabei nutzen sie oft Erdhöhlen anderer Tiere als Bau, aber auch dichtes Unterholz, verschiedene Totholzstrukturen wie Asthaufen, abgestorbene Bäume und Baumstümpfe, sowie Steinhaufen. Der Aktionsraum bei Wiesel, auch *Home Range* genannt, ist generell abhängig von der Beutetierdichte. Je weniger Beutetiere, desto grösser der Aktionsraum. Dieses Gebiet enthält meist mehrere Verstecke, welche alternierend benutzt werden (King & Powell, 2006).

Wiesel leben natürlicherweise in einer Metapopulationsstruktur. Eine Population besteht aus mehreren einzelnen, voneinander getrennten Lokalpopulationen, wobei untereinander stets ein periodischer Individuenaustausch stattfindet (Marchesi et al., 2010). Die Lokalpopulationen leben in einzelnen, untereinander verbundenen Lebensraumausschnitten, auch Patches genannt, innerhalb grösserer Populationsräume. Im landwirtschaftlich intensiv genutzten Mittelland sind überlebensfähige Wieselpopulationen auf grosse, zusammenhängende Populationsräume von mindestens 50 km<sup>2</sup> Fläche angewiesen. Aufgrund dieser Populationsstruktur haben Wiesel einen hohen Mobilitätsbedarf (Müri, 2012).



### **2.1.2 Lebensraumansprüche**

Die Lebensraumnutzung der beiden Wieselarten unterscheidet sich aufgrund ihrer bevorzugten Beute. Da die Bergschermäuse auch in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten vorkommt, ist das Beuteangebot für das Hermelin häufig sehr gut. Die Hauptbeutetiere des Mauswiesels, wie die Feldmaus, sind hingegen auf Extensivwiesen, ökologische Ausgleichsflächen und Säume angewiesen. Dadurch beschränkt sich der potenzielle Lebensraum des Mauswiesels auf Gebiete mit solchen, untereinander ausreichend vernetzten Flächen. Wiesel bewegen sich nur ungern auf offenem, ausgeräumtem Gelände, da sie so für ihre Feinde leicht zu entdecken sind (Müri, 2015). Um sich fortbewegen zu können, benötigen Wiesel struktur- und deckungsreiches Terrain, sei es für die Jagd, die Partnersuche oder zur Ausbreitung (Robin et al., 2017). Wiesel sind sehr wanderfähig und können auch weiter entfernte Biotope besiedeln. Sie neigen dazu, sich entlang von Trittsteinbiotopen und linearen Strukturen wie Hecken, Gräben, kleineren Fließgewässern, Natursteinmauern oder Säumen, zu bewegen (Boye, 2003; Holyoak, 2008; Müri, 2015).

Wiesel nutzen beim Aufenthalt an der Erdoberfläche jegliche Deckungsmöglichkeiten. Deckung ist insbesondere deshalb wichtig, da sich Wiesel mit unterschiedlichen natürlichen Feinden wie Greifvögel, Graureiher, Füchsen, etc. konfrontiert sehen (Boschi et al., 2018). Wiesel haben grundsätzlich eine grosse ökologische Breite und können in vielen Lebensraumtypen vorkommen, wie u.a. in strukturreichen landwirtschaftlichen Nutzflächen des Tieflands, Heckenlandschaften, Extensivwiesen, Obst- und Weingärten und in Waldnähe. Das Mauswiesel besiedelt teilweise auch Waldflächen, während das Hermelin Gebiete in Wassernähe zu bevorzugen scheint (Marchesi et al., 2010).

### **2.1.3 Schutzstatus und Gefährdungen**

In der Schweiz sind beide Wieselarten geschützt (Müri, 2015). Das Mauswiesel wird zudem als gefährdete Art auf der Roten Liste geführt (BUWAL, 1994). Aussagen zum Bestand von Wiesel in einer Region sind schwierig, da sie sehr versteckt leben (Boschi et al., 2018). Jedoch scheinen die Hermelin- und Mauswieselpopulationen in den letzten Jahrzehnten deutlich zurückgegangen zu sein. Als Grund für diesen Rückgang wird eine Kombination von mehreren Faktoren vermutet. Dazu zählen u.a. das Fehlen von Vernetzungsstrukturen, die zunehmende Intensivierung der Landwirtschaft und damit die Beseitigung von Landschaftselementen, Zersiedelung, Lebensraumverlust und Habitatfragmentierung, Verkehr sowie allgemein verschiedenste Störungen durch den Menschen (Gehring & Swihart, 2004; Müri, 2012). Das benötigte kleinräumige und verzahnte Mosaik verschiedener Lebensräume und Ressourcen ist häufig nicht vorhanden, z. B. wenn grosse Wühlmauspopulationen in Gebieten ohne Deckung bietende Kleinstrukturen vorkommen (Müri, 2012).

### 2.1.4 Fördermassnahmen und Kleinstrukturen

Voraussetzung für das langfristige Überleben einer Wieselpopulation sind genügend Lebensraumflächen mit ausreichender Habitatqualität und Beutetierdichte (Erlinge, 1974; Müri, 2015). Insbesondere die Vernetzung dieser Flächen untereinander ist für die kleinen Musteliden bedeutsam, da diese aufgrund der von Mobilität geprägten Lebensweise wiederkehrend zwischen unterschiedlichen Lebensraumteilen wechseln müssen. Nebst naturnah bewirtschafteten Flächen können Kleinstrukturen, wie die in dieser Arbeit im Zentrum stehenden Asthaufen, als Trittsteine die Vernetzung zwischen den Lebensraumpatches fördern. Als weitere Kleinstrukturen zu nennen sind u.a. Steinhaufen, Gräben, Wiesenstreifen, Holzbeigen, Trockenmauern, Einzel- und Totholzbäume, Hecken, Büsche, Feld- und Ufergehölze oder Kleingewässer. Kleinstrukturen ermöglichen Wiesel als Deckung die oberirdische Jagd und können ausserdem eine Funktion als Aufzuchtskammer, Ruheort sowie Versteck vor natürlichen Feinden, Mensch und Hund, bieten. Sie erfüllen auch wichtige Funktionen für zahlreiche weitere Artengruppen wie andere Kleinsäuger, Vögel, Reptilien, Amphibien sowie Wirbellose. Asthaufen sind einfach realisierbare Massnahmen und können Wieselbestände bei richtigem Vorgehen nachhaltig stärken. Damit Wiesel darin Platz finden, sollten Asthaufen aus größerem Material bestehen und idealerweise eine Aufzuchtskammer aufweisen. Nebst der Standortwahl z. B. am Waldrand, sind weitere Asthaufen in der direkten Umgebung wichtig, damit sie längerfristig von Wiesel genutzt werden (Müri, 2012). Zur Dimensionierung eines Asthaufens finden sich verschiedene Empfehlungen. BirdLife (2006) sowie Meyer et al. (2011) empfehlen 1.5 m Höhe. Boschi et al. (2018) empfehlen eine Mindesthöhe von 1 m, eine Mindestbreite von 2 m sowie eine Mindestlänge von 3 m bis 5 m. Abb. 3 zeigt eine Skizze eines idealen, für Wiesel gebauten Asthaufens mit Aufzuchtskammer. Auf Abb. 4 ist ein ca. 1.2 m hoher Asthaufen mit ca. 2.5 m Durchmesser zu sehen. In dieser Arbeit wurde für die Höhe eines Asthaufens ein Bereich zwischen 0.4 m und 2 m und für die Fläche der Bereich zwischen 3.1 m<sup>2</sup> und 28.3 m<sup>2</sup> definiert, was jeweils einem Kreis mit Radius 1 m bzw. 3 m entspricht.

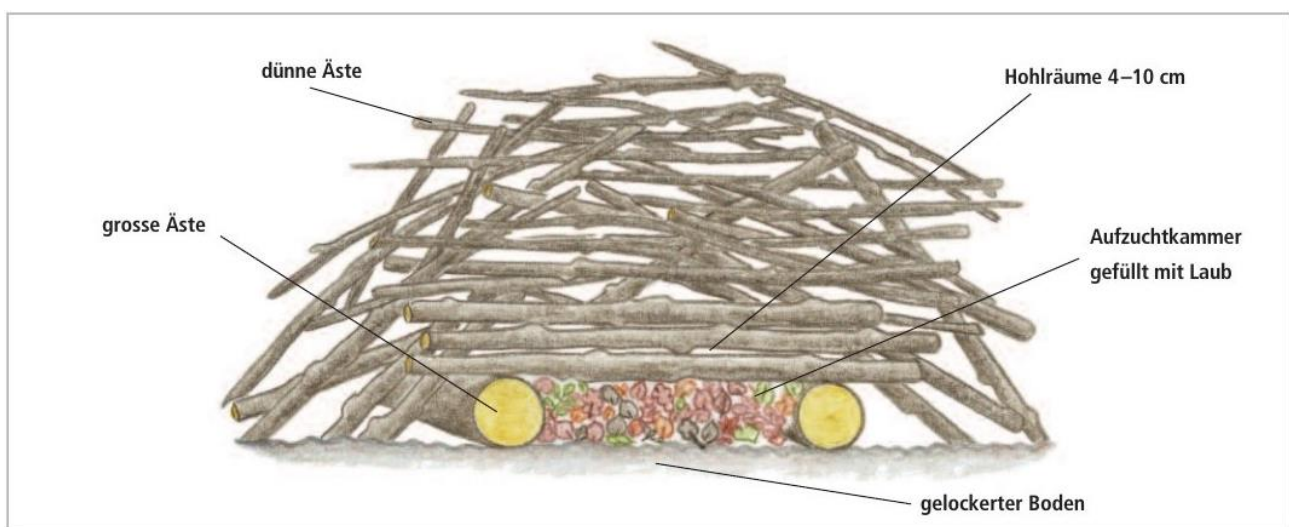


Abb. 3: Querschnitt eines neu erstellten Asthaufens mit Aufzuchtskammer (Boschi et al., 2018)



*Abb. 4: Asthaufen in Waldrandnähe, Hohentannen TG (Inauen, 2020)*



## 2.2 LiDAR in der Fernerkundung

Die Fernerkundung beinhaltet eine Vielzahl von Verfahren zur Erfassung räumlicher Daten. Es gibt passive Techniken, wie die Generierung von Luftbildern mittels eines optischen Sensors, wie auch aktive Techniken, u.a. Radar oder LiDAR. Aktive Fernerkundungssysteme eignen sich sehr gut zur Entfernungsmessung (Krause et al., 2010). Im folgenden Abschnitt werden die Grundlagen zu LiDAR erläutert. Nachfolgend werden einige Anwendungsgebiete von LiDAR, sowie einzelne Objekterkennungsmethoden im Bereich Fernerkundung mit LiDAR, kurz dargelegt.

### 2.2.1 Technische Grundlagen

LiDAR steht für *Light Detection and Ranging*. Die dabei verwendete Technik des Laserscannings misst die Distanz zwischen einem Sensor und dem mit einem Laser angestrahlten Objekt. Der Begriff *Airborne Laserscanning* (ALS) wird in der Fernerkundung als Synonym zu LiDAR verwendet. Dabei wird zur Generierung von Höheninformationen die Erdoberfläche mit einem LiDAR-System an Bord eines Fluggeräts abgetastet (Abb. 5). Bei einem LiDAR-System sendet ein Laser kurze Impulse aus (*Pulse*) während der Sensor des Scanners die von der Erdoberfläche reflektierte Strahlung registriert. Die Zeit, welche der Impuls vom Laserscanner zum Objekt und zurück benötigt, wird aufgezeichnet und in eine Distanz umgerechnet. Den dabei erfassten Datenpunkten (*Return*) werden jeweils eine X-, Y- sowie eine Z-Position zugeteilt. Dies geschieht in Kombination mit weiteren Messinstrumenten des ALS. Voraussetzung für die präzise Georeferenzierung der Lidarpunkte ist eine fortlaufende Bestimmung von Position und Orientierung des Fluggeräts bzw. Laserscanners. Dies erfolgt anhand eines GPS sowie einer inertialen Messeinrichtung (*Inertial Measurement Unit, IMU*), welche Beschleunigung und Rotation des Fluggeräts aufzeichnet und damit eine Bestimmung der Ausrichtung des Scanners ermöglicht (Nyffeler, 2018).

Da die Ausdehnung des Laserimpulses aufgrund von Flughöhe und Eintrittswinkel variiert, kann ein einzelner Impuls von unterschiedlichen Oberflächen reflektiert werden. Die sogenannten *first Returns* beispielsweise sind jene Punkte, welche nach der Emittierung des Laserstrahls als erste den Sensor erreichen und daher einerseits mit den höchsten Objekten des Gebiets assoziiert werden, andererseits jedoch auch blanken Boden darstellen können. Weitere Teile des Impulses dringen durch Vegetationslücken bis zum Boden vor oder werden von anderen Strukturen reflektiert. Das ALS berechnet daraus mehrere Einzeldistanzen (Nyffeler, 2018).

Primär existieren zwei verschiedene ALS-Systeme. Ein *Discrete Return* System zeichnet einzelne Returns auf, wenn dessen Intensität einen definierten Grenzwert übersteigt. Dabei wird der Zeitpunkt des Returns beim Zurücktreffen auf den Sensor, jedoch keine Information zur Wellenform aufgezeichnet. Wenn zwei sich leicht überlappende Impulse auf zwei unterschiedliche

Objekte ähnlicher Höhe treffen, können die Returns nicht weiter differenziert werden (Abb. 5) (Nyffeler, 2018).

Ein *Full Waveform* System zeichnet hingegen die vollständige Verteilung der zurückgeworfenen Lichtenergie auf (Abb. 5). Daraus können Daten über die vertikale Ausdehnung des reflektierten Objekts abgeleitet werden. Viele LiDAR-Produkte, welche mit einem *Full Waveform* System generiert wurden, weisen daher zusätzliche Intensitätswerte auf, welche der Menge der vom Sensor aufgezeichneten Lichtenergie entsprechen. Dies ist für die Klassifizierung der Lidarpunkte von grossem Vorteil. Die Punkteklassifikation stellt die Art des Objekts dar, von dem der Laserimpuls reflektiert wird (Nyffeler, 2018).

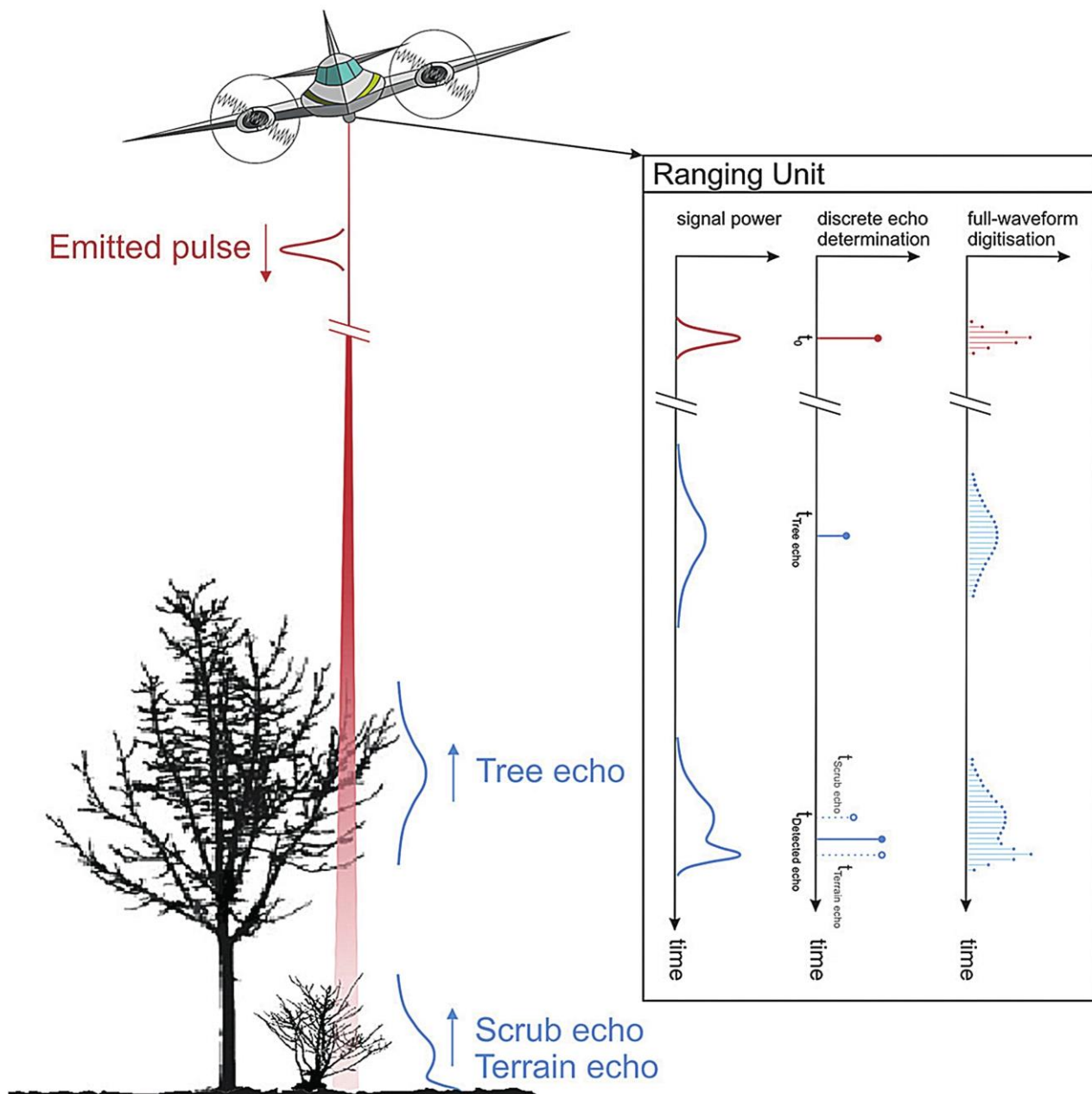


Abb. 5: Funktionsweise ALS (Nyffeler, 2018)

## 2.2.2 Anwendungsgebiete und Objekterkennungsmethoden

Laserscanning wird in verschiedensten Bereichen eingesetzt. LiDAR wird oft bei grossflächigen Vegetationsanalysen wie im Forstwesen, in der Landwirtschaft sowie für ökologische Fragestellungen genutzt (Guo et al., 2018). McKinion et al. (2010) z. B. verwendete aus LiDAR abgeleitete topographische Daten landwirtschaftlicher Nutzflächen zusammen mit den vorjährigen Ertragsergebnissen, um die Fruchtbarkeit und damit den Bedarf an Dünger pro Fläche abzuschätzen. Aus LiDAR-Daten können u.a. Masse zu Kronenhöhe und Vegetationsschichten (Morsdorf et al., 2010), Vegetationsstruktur (Nagendra et al., 2013) oder Biomasse (Black et al., 2014), abgeleitet werden. LiDAR ermöglicht eine dreidimensionale Charakterisierung der Habitatstruktur terrestrischer Lebensräume und wird daher oft bei Habitatmodellierungen verwendet (Martinuzzi et al., 2009; Vierling et al., 2008; Zlinszky et al., 2014). Tweedy et al. (2019) nutzte für die Entwicklung eines Habitateignungsmodells für den Pazifischen Marder *Martes caurina* eine Kombination aus LiDAR-Daten mit Feldmethoden. LiDAR wird bei der Datenverarbeitung verschiedenster Fragestellungen oft in Kombination mit Bildanalyseverfahren eingesetzt. Hellesen und Matikainen (2013) entwickelten anhand von LiDAR einen Ansatz zur Kartierung von Gehölzen und Falschfarben-Orthofotos im Kontext von Verbuschung in Grünlandflächen. Die dabei angewandte Methode bestand aus einer Kombination objektbasierter Bildanalyse mit CART, einem Klassifikationsalgorithmus.

LiDAR-Daten ermöglichen zudem die Erkennung, Extraktion und digitale Rekonstruktion von Gebäuden und anderen Infrastrukturen (Rottensteiner, 2008). Diese Informationen können z. B. für Stadtmodelle oder generell für raumplanerische Fragestellungen verwendet werden, wie bei der Erfassung und Klassifizierung der Bodenbedeckung (Ucar et al., 2018). Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie für Navigationssysteme autonomer Fluggeräte verwendeten Demir et al. (2008) eine Kombination aus LiDAR und NDVI, um Gebäude zu extrahieren. NDVI ist ein Vegetationsindex, welcher in der Fernerkundung dazu verwendet wird, vegetationshaltige von vegetationslosen Flächen abzugrenzen (Kriegler et al., 1969). Auch Zhu et al. (2012) nutzten diese Kombination, um Gebäude von Vegetation zu trennen und damit eine bessere Qualität in der Rekonstruktion von Gebäuden zu ermöglichen. Höfle und Hollaus (2010) verfolgten ebenfalls einen objektbasierten Ansatz zur Erkennung urbaner Vegetation. Dieser bestand aus einer Segmentierung eines aus der LiDAR-Punktwolke generierten nDSM, einem normalisierten Höhenmodell. Dabei wurden geometrische Attribute der Segmente berechnet und in Kombination mit Parametern aus der Punktwolke wie Intensität, Echobreite und der Anteil der First Returns für die Klassifizierung verwendet.

Die Segmentierung ist ein Teil der objektbasierten Bildanalyse, wobei für die anschliessende Klassifizierung einer Rastergrafik eine Gruppierung spektral ähnlicher Pixel in Vektorobjekte stattfindet (Esri A, o. J.). Auch Krause et al. (2010) applizierten zur Erkennung von kleinen Landschaftselementen mittels LiDAR eine höhenbasierte Segmentierung in Kombination mit NDVI. Anhand festgelegter Grenzwerte hinsichtlich Höhe und NDVI wurden dabei Linien- und Flächenobjekte charakterisiert und extrahiert (Abb. 6).

LiDAR findet auch in der Hydrologie Anwendung, sei es für bathymetrische Fragestellungen oder auch im Gefahren- und Risikomanagement, wie z. B. bei Flutmodellierungen (Mandlbürger et al., 2009). Naturgemäss wird LiDAR auch bei geomorphologischen Fragestellungen (Moreno-Gómez et al., 2019; Zheng & Xiao, 2018) oder auch in der Archäologie (Canuto et al., 2018; Nyffeler, 2018; Riley, 2009) eingesetzt. Die Methode von Riley (2009) für die Detektion von Hügelgräbern besteht aus der Berechnung von vier Attributen (Abb. 7). Dies erfolgt anhand eines Geländemodells (DEM), welches aus LiDAR-Daten generiert wird. Nach einer Zusammenführung der entsprechenden Attribute werden anhand von festgelegten Grenzwerten die relevanten Zellen selektiert und extrahiert.

Ein neueres, zukunftsweisendes Forschungsgebiet hinsichtlich der Objektklassifizierung auf der Basis von LiDAR ist das maschinelle Lernen sowie *Deep Learning* (Teri 2019). Anhand mathematischer Modelle können Computer die Erkennung von Objekten aus der Punktwolke «lernen». Die Resultate von z. B. Zhao et al. (2018) sowie Kowalczuk und Szymański (2019) weisen auf ein grosses Potenzial hin. Die Erstellung solcher Modelle ist jedoch komplex und benötigt eine Menge Hintergrundwissen, welche viele GIS-Nutzer nicht mitbringen.

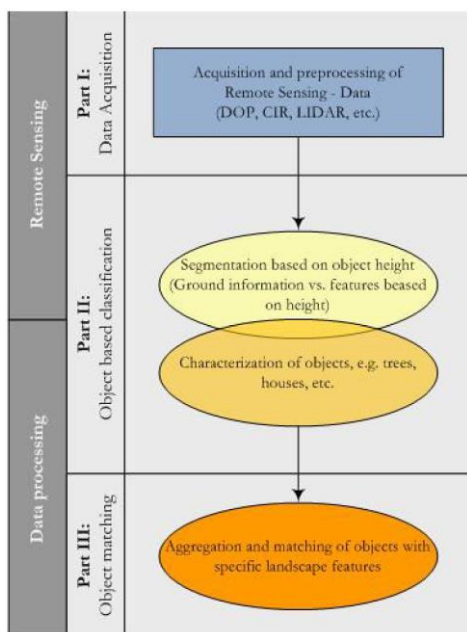


Abb. 6: Prozessmodell von Krause et al. (2010)

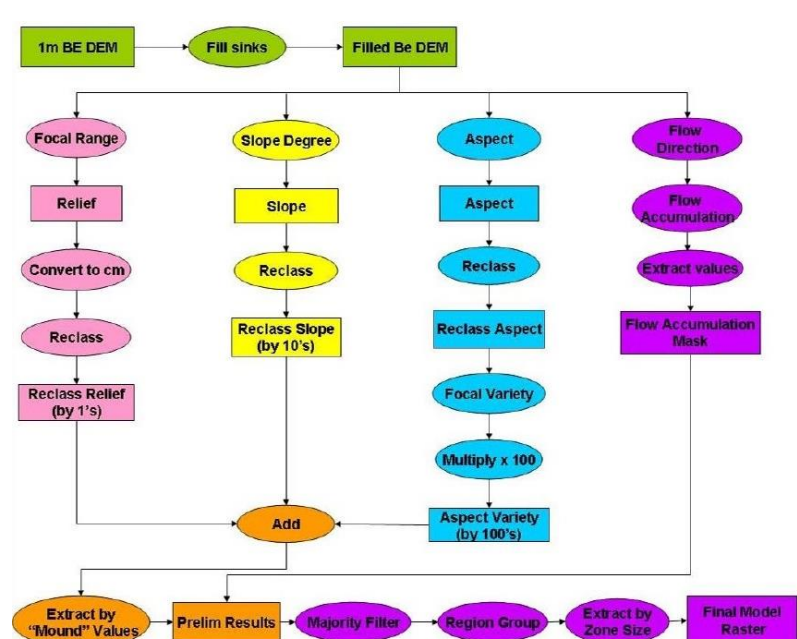


Abb. 7: Prozessmodell von Riley (2009)

### 3 Material und Methoden

In diesem Kapitel werden die verwendeten Daten und das Vorgehen bei der qualitativen Datenanalyse beschrieben. Zudem wird die Erarbeitung und Funktionsweise des Tools zur Extraktion von Asthaufen erläutert.

#### 3.1 Datengrundlage und Untersuchungsgebiet

Der im Feld erfasste Referenzdatensatz repräsentiert als Punkt-Shapefile Asthaufen, welche im Rahmen des Förderprojekts «Wiesel & Co. am Zimmerberg» angelegt wurden. Die Daten wurden gefiltert, sodass nur Asthaufen, welche vor der LiDAR-Befliegung erstellt wurden, berücksichtigt wurden. Die Lagegenauigkeit des Referenzdatensatzes beträgt ungefähr 10 m. Das Shapefile enthält neben den Koordinaten Attribute zu Aufnahme- und Erstelldatum sowie das als ID verwendete Attribut «strktr\_d».

Als LiDAR-Datensatz wurde das Produkt «swissSURFACE3D» von swisstopo verwendet. Dieses Produkt liegt im Format LAS 1.2 vor und ist in Kacheln von 1 km<sup>2</sup> unterteilt. Die Bezeichnung der Kacheln entspricht jeweils den Kilometerkoordinaten des südwestlichen Eckpunkts im Grundlagentnetz LV95. Sämtliche Punkte weisen einen präzisen X-, Y-, und Z-Positionswert auf, Attribute zu Return-Nummer sowie Intensität und sind jeweils vordefinierten Klassen zugeteilt. Die Klassifizierung gibt an, welcher Objektart der entsprechende Return zugehörig ist. Die Lagegenauigkeit von «swissSURFACE3D» beträgt +/- 20 cm, die Höhengenaugigkeit +/- 10 cm. Die Genauigkeit der Punkteklassifizierung wird auf 98 % geschätzt (swisstopo, 2019). «swissSURFACE3D» verwendet für die Zuteilung der Objektart Klassen gemäss Tab. 1.

Tab. 1: Auszug aus Produktinfo swissSURFACE3D, angepasst. \* Amerikanische Gesellschaft für Fotogrammetrie und Fernerkundung (ASPRS) (swisstopo, 2019)

Klasse	Art des Objektes	Nomenklatur ASPRS*	In Arbeit verwendet	Farbe in Punktwolke
1	Nicht klassifizierte und temporäre Objekte	«unclassified»	Ja	Grau
2	Boden	«ground»	Ja	Braun
3	Vegetation (tief – mittel – hoch)	«Low Vegetation»	Ja	Grün
6	Gebäude	«Building»	Nein	-
9	Wasser	«Water»	Nein	-
17	Brücken, Überführungen, Viadukte	«Bridge Deck»	Nein	-



Für die Arbeit wurden jene 37 Kacheln verwendet, welche sich mit dem Referenzdatensatz überlappen. Das Untersuchungsgebiet beschränkt sich auf den Bezirk Horgen (Abb. 8), die LiDAR-Befliegung fand im Jahr 2018 statt. Die Punkteanzahl der 37 Kacheln beläuft sich auf ca. 552 Mio. Punkte. Die mittlere Punktedichte beträgt 14.79 Punkte pro Quadratmeter, was einem mittleren Punkteabstand von 0.26 m entspricht. Für die Arbeit wurden die Klassen 1, 2 und 3 verwendet (Tab. 1). Der prozentuale Anteil der drei anderen Klassen beläuft sich auf 5.0 %. Davon sind 4.7 % als Gebäude klassifizierte Punkte, welche für die Arbeit grundsätzlich irrelevant sind. Den grössten Anteil weisen mit 57.3 % die Klasse 2 sowie mit 36.6 % die Klasse 3 auf. Der Anteil der als Klasse 1 klassifizierten Punkte beträgt 1.1 %.

Überdies wurde ein LiDAR-Datensatz des Amts für Raumentwicklung Zürich (ARE) mit einer mittleren Punktedichte von 8 Punkten pro Quadratmeter aus dem Jahre 2015 verwendet.

Es wurden Layer aus den Vektor-Produkten «Bauzonen Schweiz (harmonisiert)» des Bundesamtes für Raumentwicklung (ARE), sowie «swissTLM3D 1.4» des Bundesamtes für Landestopografie (swisstopo), verwendet. Die im Produkt «swissSURFACE3D» mitgelieferten Metadaten in Form eines Shapefiles wurden ebenfalls verwendet.

Zu Visualisierungszwecken wurden zwei verschiedene Basiskarten verwendet, zum einen die Esri-Hintergrundkarte «World Imagery» und zum anderen das Esri-Höhenmodell «World Elevation 3D». Für das Titelbild wurde zudem das Produkt «Orthofoto Sommer RGB/Infrarot 2018» genutzt. Datenherr dieser drei Produkte im Untersuchungsgebiet ist das Amt für Raumentwicklung Zürich. In Tab. 2 findet sich eine Übersicht der verwendeten Daten.

Tab. 2: Übersicht verwendete Daten

Geodatenatz	Format	Verwendung	Quelle
swissSURFACE3D Bezirk Horgen	LAS 1.2	Grundlage	swisstopo
swissSURFACE3D Metadaten	Shapefile	Oberflächenbeschränkung	swisstopo
asthaufen	Shapefile	Referenz	ZHAW Wädenswil
swissTLM3D_2019_tlm_bodenbedeckung	Shapefile	Oberflächenbeschränkung	Bundesamt für Raumentwicklung
swissTLM3D_2019_tlm_fliessgewaesser	Shapefile	Oberflächenbeschränkung	Bundesamt für Raumentwicklung
swissTLM3D_2019_tlm_gebaeude_footprint	Shapefile	Oberflächenbeschränkung	Bundesamt für Raumentwicklung
swissTLM3D_2019_tlm_strasse	Shapefile	Oberflächenbeschränkung	Bundesamt für Raumentwicklung
World Imagery	Rasterlayer (Service)	Visualisierung	Esri / ARE ZH
World Elevation 3D	3D-Höhenmodell (Service)	Visualisierung	Esri / ARE ZH
Orthofoto Sommer RGB/Infrarot 2018	Rasterlayer	Visualisierung	ARE ZH
LIDAR Laserscanning-Geodaten	LAZ	Versuche	ARE ZH

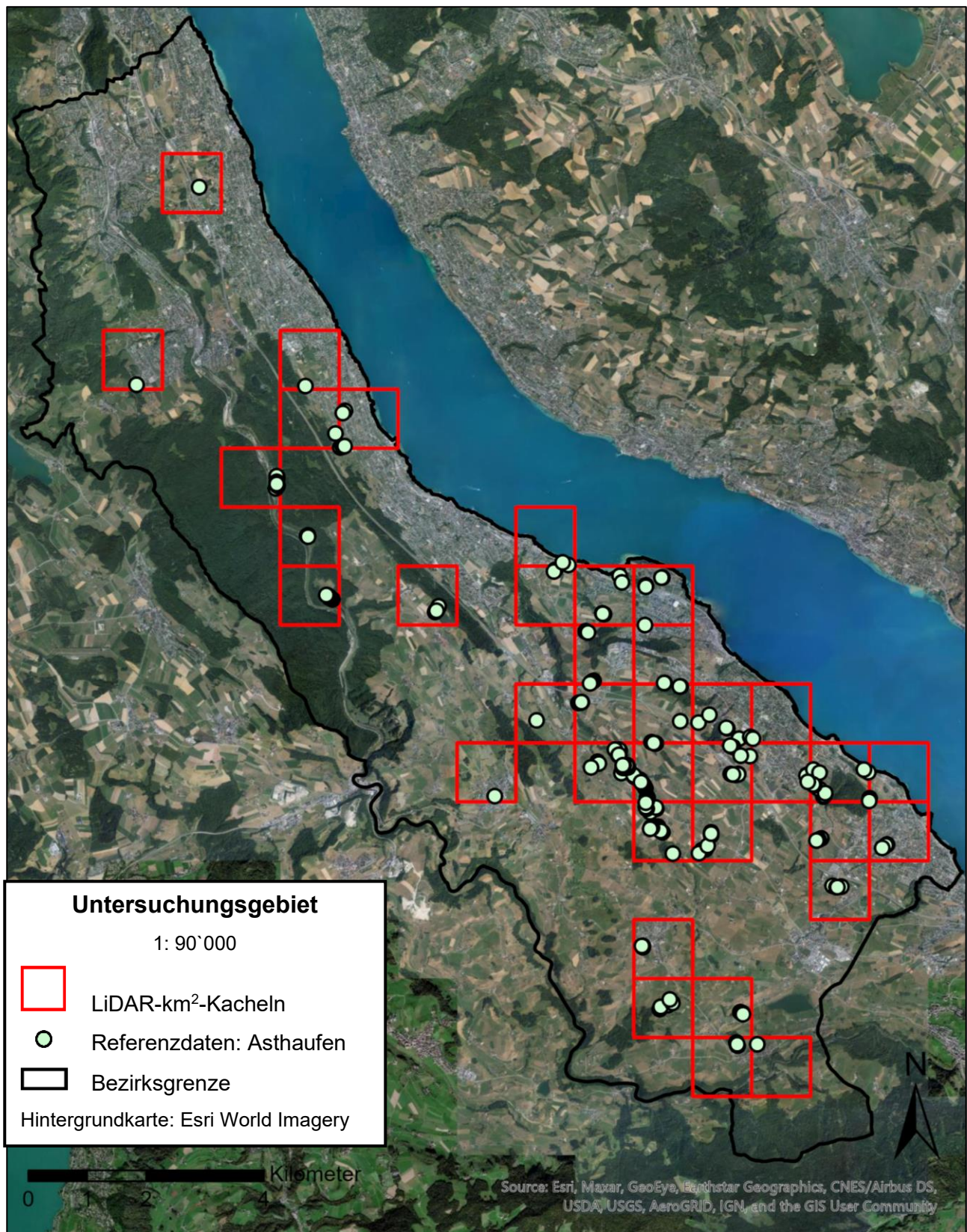


Abb. 8: Untersuchungsgebiet, erstellt mit ArcGIS Pro (Inauen, 2020)

### 3.2 Software und technisches Setup

Die Erarbeitung des Tools sowie sämtliche Berechnungen und Visualisierungen wurden innerhalb der GIS-Software ArcGIS Pro, Version 2.5.0, durchgeführt. Als Hardware kam ein Desktop-PC mit einem AMD Ryzen 7 Prozessor, 32 GB RAM und einer Radeon RX 5700 XT 8 GB GPU zum Einsatz.

### 3.3 Qualitative Datenanalyse

Der LiDAR- und der Referenzdatensatz wurde mittels ArcGIS Pro visuell miteinander verglichen und auf An- oder Abwesenheit der Asthaufen sowie deren dominante Punkteklassifizierung überprüft. Dabei wurde eine Fläche im Umkreis von 20 m pro Referenzpunkt berücksichtigt. Dem Referenzdatensatz wurden neue Attribute gemäss Tab. 3 zugeteilt. Die Zuweisung der dominanten Klassifizierung pro Asthaufen erfolgte mittels manueller Schätzungen. Diese erste Analyse war notwendig für die Konzipierung des Tools. In Abb. 9 und 10 sind Beispiele klar erkennbarer Asthaufen zu sehen. In Abb. 11 und 12 sind weitere Zuteilungsbeispiele zu sehen.

Tab. 3: Übersicht Attribute qualitative Datenanalyse

Attribut	Wert (Bedeutung)	Zuteilungskriterium
p_in_LiDAR (present in LiDAR)	y (yes)	Pro Referenzpunkt im Umkreis von +/- 10 m ein oder mehrere Asthaufen im LiDAR-Datensatz erkennbar
	n (no)	Pro Referenzpunkt im Umkreis von +/- 20 m kein Asthaufen im LiDAR-Datensatz erkennbar
	allo (allocation)	Pro Referenzpunkt im Umkreis von +/- 20 m ein oder mehrere Asthaufen im LiDAR-Datensatz erkennbar
	part (partially)	Pro Referenzpunkt im Umkreis von +/- 10 m ein oder mehrere Asthaufen im LiDAR-Datensatz ansatzweise erkennbar
dom_class (dominant class)	1 (nicht klassifiziert) 2 (Boden) 3 (Vegetation)	Die geschätzte dominante Klasse der LiDAR-Punkte pro Referenzpunkt. Zuteilung wenn Anteil der LiDAR-Punkte des sichtbaren Asthaufens mindestens +/- 70 % der entsprechenden Klasse angehören
	12 (nicht klassifiziert + Boden) 13 (nicht klassifiziert + Vegetation) 23 (Boden + Vegetation)	Zuteilung zweier dominanter Klassen, wenn Anteil der LiDAR-Punkte des sichtbaren Asthaufens +/- 50 % den entsprechenden Klassen angehören
detached	y (yes)	Zuteilung wenn Asthaufen freistehend
	n (no)	Zuteilung wenn Asthaufen unter Vegetationsdecke



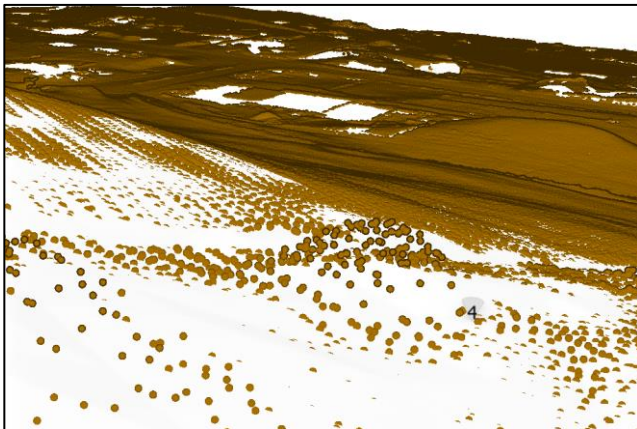


Abb. 9: Beispiel eines überdeckten Asthaufens, Vegetation ausgeblendet. «strktr» 4 ist in der Mitte des Bildes zu sehen

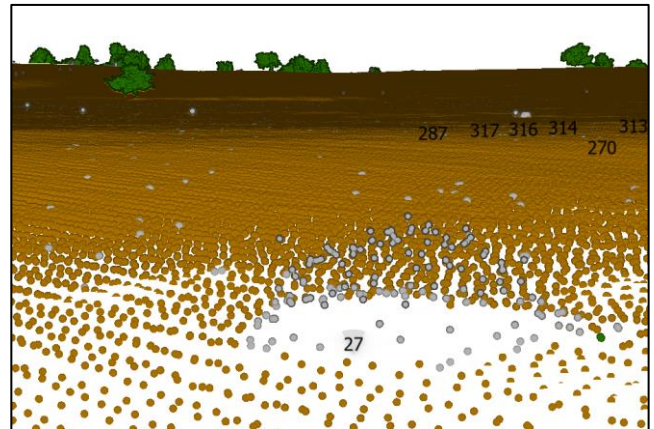


Abb. 10: Beispiel eines freistehenden Asthaufens. «strktr» 27 ist in der Mitte des Bildes zu sehen

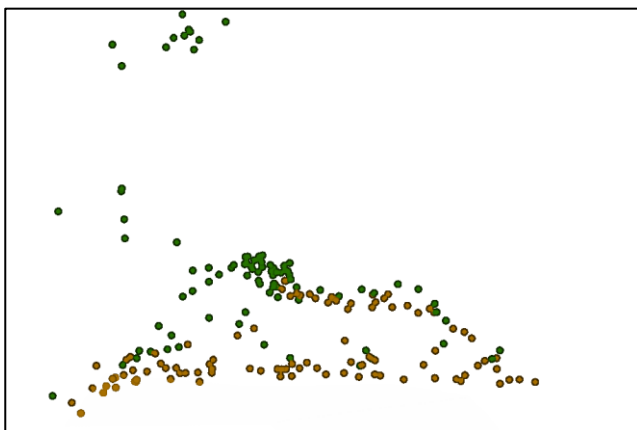


Abb. 11: Beispiel für einen Asthaufen mit Wert 23 als dominante Klasse, da ähnlich grosser Anteil Boden- und Vegetationspunkte. «strktr\_d» 322

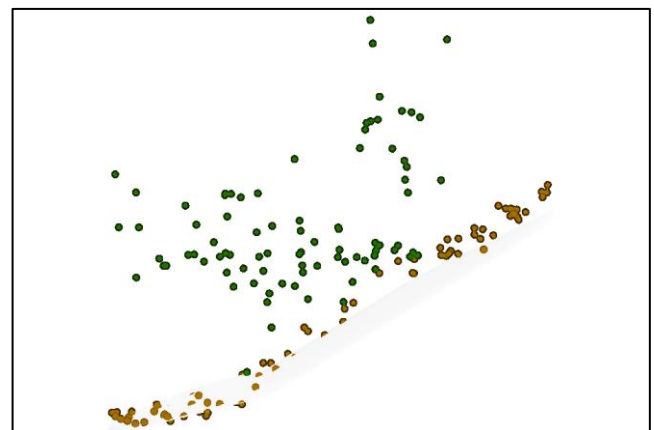


Abb. 12: Beispiel für einen Asthaufen mit Wert partially, da nur ansatzweise erkennbar. «strktr\_d» 17

### 3.4 Tool Erarbeitung

Für die Extraktion der Asthaufen aus der LiDAR-Punktwolke in ein einfacheres Format wurde mit Hilfe des ArcGIS Modelbuilder ein Tool erarbeitet. Aufgrund der Feststellungen bei der qualitativen Datenanalyse wurde klar, dass bei der Erarbeitung des Tools grundsätzlich zwei verschiedene Herangehensweisen erforderlich sein dürften. Grund dafür war einerseits der Umstand, dass ein Teil der Asthaufen freistand, der restliche Teil hingegen von Vegetation überdeckt war. Ein weiterer Grund war die unterschiedliche Klassifizierung der LiDAR-Punkte pro Asthaufen. Als Grundlage dienten das Modell von Krause et al. (2010) für die freistehenden Asthaufen und das Modell von Riley (2009) für die überdeckten Asthaufen. Es wurden Elemente aus beiden Modellen verwendet. Das Gesamttool «constrained LAS to piles» setzt sich grundsätzlich aus drei Teilworkflows bzw. Tools (Abb. 13) zusammen, welche in den nachfolgenden Kapiteln vorgestellt werden. Im Anhang finden sich Darstellungen sämtlicher Tools. Zudem wird in Kapitel 3.4.2 kurz auf das Tool «segmented nDSM to points» eingegangen, dessen Erarbeitung die Basis für ein Teiltool darstellen sollte, jedoch nicht weiterverfolgt wurde.

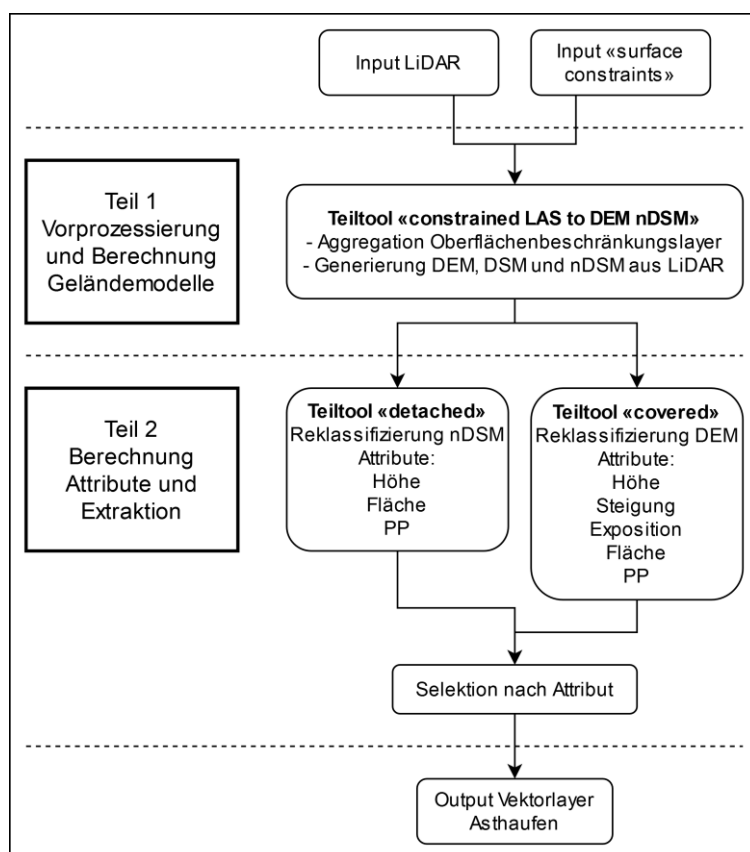


Abb. 13: Übersicht Vorgehensmodell für das Tool «constrained LAS to piles», erstellt mit diagrams.net

### 3.4.1 Vorprozessierung und Berechnung digitales Geländemodell

Um die Effizienz des Tools zu erhöhen, wurde ein Workflow erarbeitet, welcher für ökologische Vernetzungsprojekte irrelevante Flächen wie Bauzonen, Strassen, Gebäude oder Wasserflächen von der Prozessierung ausschliesst. Dafür werden sogenannte «Surface Constraints», auch Oberflächenbeschränkungen genannt, verwendet. Diese setzen sich aus den in Tab. 2 als Oberflächenbeschränkung aufgeführten Layern zusammen. Die anschliessende Interpolation der 3D-LiDAR-Punktwolke in ein 2D-Rasterformat bildet die Grundlage für sämtliche weiterführenden Operationen und wird sowohl bei Krause et al. (2010), als auch bei Riley (2009) angewendet. Dieser Prozess wird in diesem Kapitel vorgestellt und wurde «constrained LAS to DEM nDSM» genannt.

Die Parameter «Workspace» und «Temp» (Abb. 14) entsprechen Dateiordnern, welche den Zugriff von ArcGIS auf die verschiedenen Datensätze steuern. Der «Workspace» wird auf die Geodatabase des aktuellen Projekts festgelegt, während «Temp» einem normalen Ordner auf der Festplatte zugeordnet wird. Dieser ist erforderlich, da LAS-Datasets nicht in einer Geodatabase gespeichert werden können. Auch die berechneten Rasterdateien werden darin abgespeichert.

In einem ersten Schritt werden jene Flächen des Bodenbedeckungslayers selektiert, deren Objektart von der Prozessierung ausgenommen werden soll. Dies geschieht über das Werkzeug «Make Feature Layer». In Tab. 4 findet sich eine Übersicht der Objektarten des Bodenbedeckungslayers innerhalb des Untersuchungsgebietes.

Tab. 4: Übersicht Objektarten, Auszug Objektkatalog swissTLM3D 1.4 (swisstopo, 2016)

Objektart	Code	Definition
Fels	1	Fels ist eine feste Gesteinsmasse. Bedeckungsgrad: >80% sichtbarer Fels Mindestfläche: >625m <sup>2</sup> oder Mindestlänge: 50 m oder Mindesthöhe: 10 m
Fliessgewässer	5	Flächen der Fliessgewässer Minimalbreite: 5 m Minimallänge: 500 m
Gebüschwald	6	Mit gleich - oder verschiedenartigen Sträuchern dicht bestockte Fläche
Lockergestein	7	Felsfragmente und Lockergestein (Kiesgruben, Flussbetten, Deponien oder Gebirgsflächen) Bedeckungsgrad: >80% Lockergestein Mindestfläche: >625 m <sup>2</sup>
Stehende Gewässer	10	Stehende Gewässer sind dauernd oder periodisch bedeckte offene Wasserflächen, wie Seen, Stauseen, Teiche usw.
Feuchtgebiet	11	Ein Feuchtgebiet ist ein Gebiet, das im Übergangsbereich von trockenen zu dauerhaft feuchten Ökosystemen liegt (Sumpf, Moor, Bruchwald, Feuchtwiese, Aue oder Ried)
Wald	12	Eine bewaldete Fläche die mit gleich- oder verschiedenartigen Bäumen dicht bestockt ist

Durch die Selektion werden Flächen mit der Objektart 1, 5, 7 oder 10 als Oberflächenbeschränkung appliziert und somit von der weiteren Datenverarbeitung ausgeschlossen. Der Grund für den Miteinbezug von Flächen mit der Objektart 6, 11 oder 12 rührt daher, dass diese erwartungsgemäss potenzielle Standorte für Asthaufen darstellen. Die Pufferlängen wurden heuristisch ermittelt, einerseits anhand von Erfahrungswerten, andererseits anhand eines Vergleichs der Oberflächenbeschränkungen mit dem Referenzdatensatz. Dabei wurde versucht, ein Optimum zu erreichen indem möglichst wenige Referenzpunkte ausgeschlossen und trotzdem gleichzeitig die Pufferlängen maximiert wurden. Dies aus dem einfachen Grund, da die unmittelbare Umgebung der Oberflächenbeschränkungen viele für die Prozessierung relevante Fehlerquellen beinhalten kann. Zu nennen wären da zum Beispiel Fahrzeuge neben Gebäuden oder diverse Geländeunebenheiten und steile Böschungen entlang von Fließgewässern. Für die beiden Linien-Layer Strasse und Fließgewässer wurde ein Puffer von 3 m gewählt. Für die Polygon-Layer Bodenbedeckung und Bauzone wurde ein Puffer von 5 m, für den Polygon-Layer Gebäude Footprint ein Puffer von 10 m gewählt (Abb. 14).

Nach der Pufferung der fünf Layer werden diese über «Merge» zusammengeführt und bilden den ersten «Surface Constraints» Layer. Dieser wird zusammen mit dem Metadaten-Layer, welcher den äusseren Kachelgrenzen entspricht, auf das Werkzeug «Create LAS Dataset» angewendet (Abb. 14 und 15). Als Input dienen eine oder mehrere LAS-Dateien. Falls keine Kachelgrenzen vorliegen, können diese mit dem Werkzeug «Point File Information» schnell erstellt werden. Diese Oberflächenbeschränkungen definieren die Grenzen der anschliessenden Umrechnung des LiDAR-Datensatzes in Rasterdateien, welche mit dem Werkzeug «LAS Dataset to Raster» durchgeführt wird. Die Effizienz dieser Umrechnung kann ohne eine solche Begrenzung beeinträchtigt werden. Für die Auswertung in Kapitel 4 wurde die Fläche im Umkreis von 20 m pro Referenzpunkt berücksichtigt und somit statt der Kachelgrenzen der um 20 m gepufferte Referenzlayer verwendet.

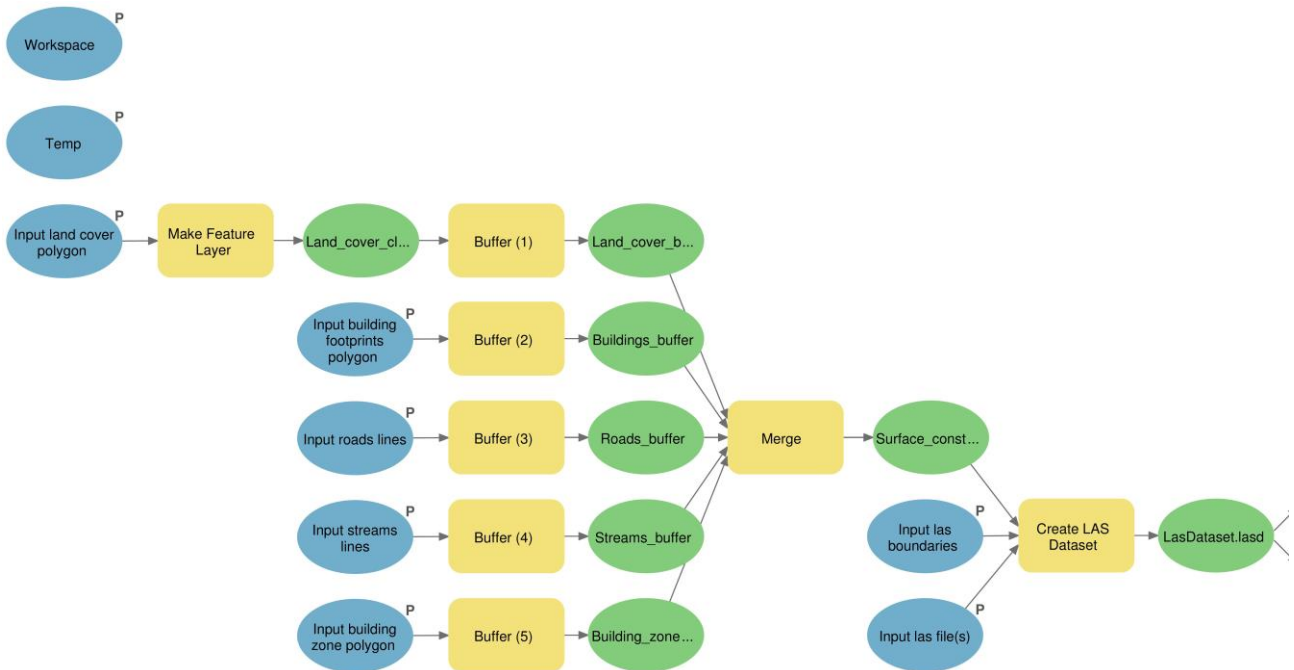


Abb. 14: Teil 1 des Workflows «constrained LAS to DEM nDSM»

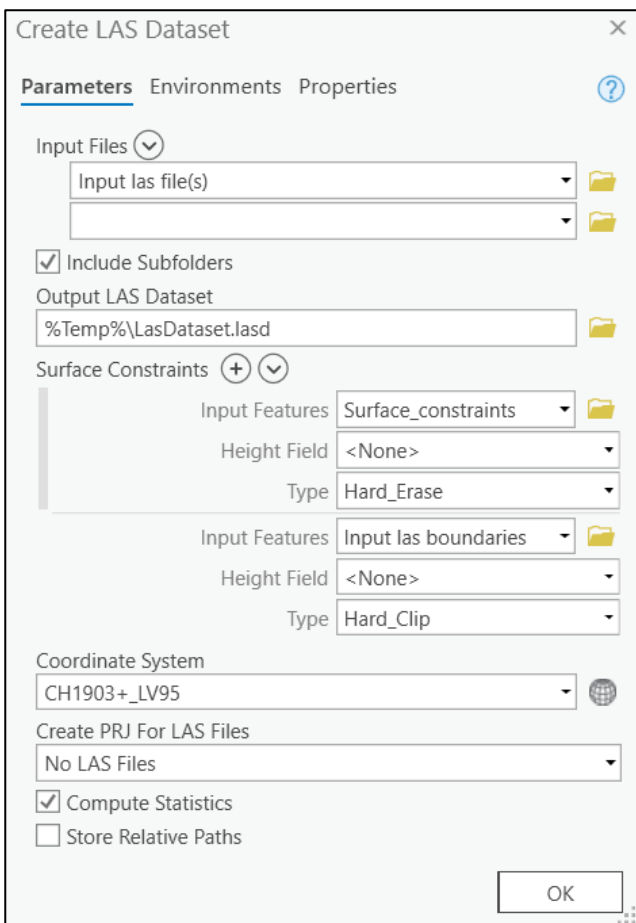


Abb. 15: Anwendung der Oberflächenbeschränkungslayer auf «Create LAS Dataset»



Es folgt die Berechnung der Geländemodelle. Ein DEM (*digital elevation model*) stellt das Gelände ohne Objekte wie Gebäude und Vegetation dar. Ein DSM (*digital surface model*) repräsentiert hingegen die Erdoberfläche inklusive aller Objekte (Esri, B, o. J.). Dadurch wird das Gelände, im Gegensatz zu der heterogenen LiDAR-Punktwolke, als kontinuierliche Oberfläche repräsentiert (Nyffeler, 2018). Die Berechnung der einzelnen Pixel erfolgt anhand des Werkzeugs «LAS Dataset To Raster» mithilfe der Interpolationsmethode «Natural Neighbor» und wird von den Höhenwerten der LiDAR-Punkte abgeleitet (Abb. 16 und 17). Für das DEM werden nur als Boden klassifizierte Punkte verwendet, welche über das Werkzeug «Make LAS Dataset Layer» selektiert werden (Abb. 17). Für das DSM werden alle Klassen (1, 2 und 3), jedoch nur die *first returns* verwendet. Dies wird ebenfalls über das Werkzeug «Make LAS Dataset Layer» sichergestellt. Als Auflösung der digitalen Geländemodelle wurde 0.25 m Kantenlänge pro Pixel gewählt, was 16 Höhenwerten pro Quadratmeter entspricht. Dies ist etwas mehr als die durchschnittliche LiDAR-Punktedichte von 14.78 Punkten pro Quadratmeter. Je mehr interpoliert wird, desto grösser wird der Datenverlust, jedoch erwies sich für den Zweck dieser Arbeit die hohe Auflösung der Höhenmodelle als geeignet. Werden für das Tool irrelevante Flächen mit sehr kleinen Punktedichten wie Wasserflächen nicht berücksichtigt, erhöht sich die Punktedichte zudem auf über 15 Punkte pro Quadratmeter. Die Auflösung des Höhenmodells wird über den Parameter «Sampling Value» konfiguriert (Abb. 16).

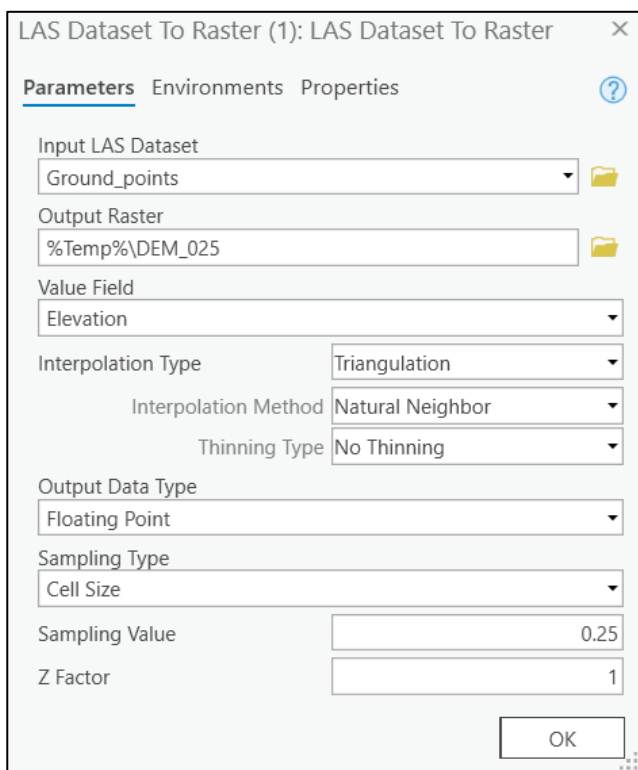


Abb. 16: Einstellungen «LAS Dataset To Raster»

Da die Werte dieser beiden Geländemodelle der Höhe über Meeresspiegel entsprechen, erfolgt schliesslich über das Tool «Minus» eine Subtraktion des DEM vom DSM. Das Ergebnis ist ein nDSM (normalized digital surface model), dessen Rasterwerte die lokale Höhe der verschiedenen Objekte auf dem Oberflächenmodell approximieren. Abb. 18 und 19 zeigen beispielhaft ein DEM und ein nDSM für die Kachel 2690\_1233.

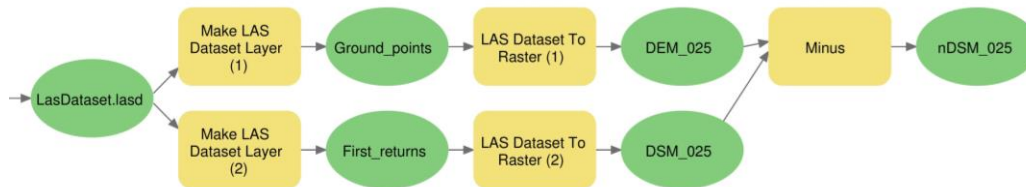


Abb. 18: Teil 2 des Workflows «constrained LAS to DEM nDSM»

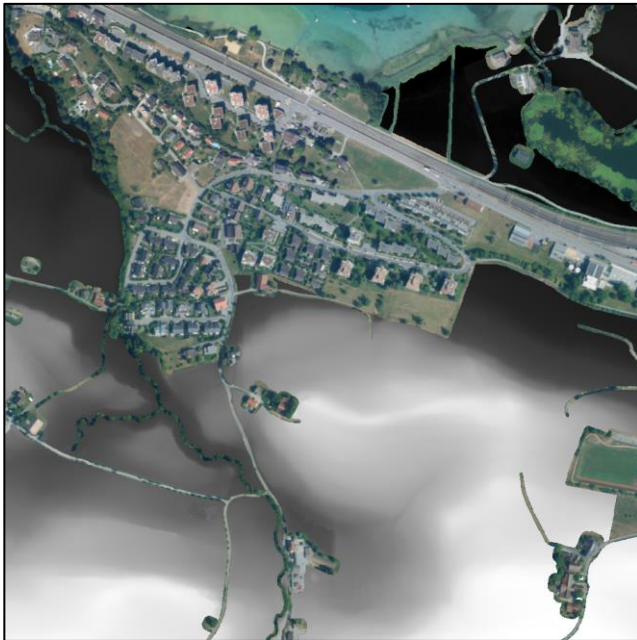


Abb. 17: Beispiel DEM, Kachel 2690\_1233

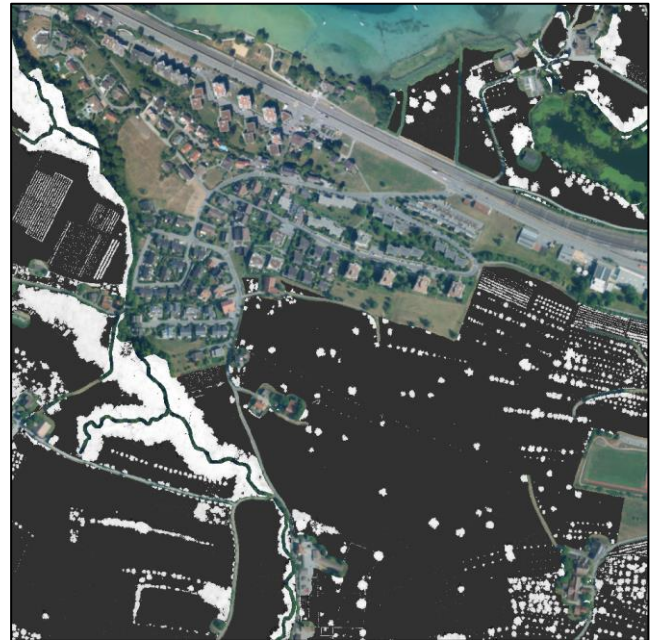


Abb. 19: Beispiel nDSM, Kachel 2690\_1233

### **3.4.2 Freistehende Asthaufen «detached»**

Anhand eines öffentlich verfügbaren LiDAR-Datensatzes des Amts für Raumentwicklung Zürich von 2015 wurde versucht, ein Tool nach der Methode von Krause et al. (2010) zu erarbeiten. Das anfängliche Ziel war es, Einzelbäume und Einzelsträucher aus LiDAR-Daten zu extrahieren. Dieses Tool sollte als Basis einer Extraktionsmethode für freistehende Asthaufen dienen. Als qualitativer Referenzdatensatz wurde die Arbeit von (Scherl, 2018) herangezogen.

Die Methode von Krause et al. (2010) besteht aus einer höhenbasierten Bildsegmentierung. Aus der LiDAR-Punktwolke wird ein nDSM generiert, welches anschliessend segmentiert wird. Die Berechnung des nDSM wird in Kapitel 3.4.1 beschrieben.

ArcGIS Pro bietet zwei unterschiedliche Wege, Raster zu segmentieren. Eine erste Möglichkeit bietet die Segmentierung über die «Classification Tools», womit gute Resultate erzielt werden konnten. Jedoch liess sich diese Vorgehensweise nicht in den Modelbuilder integrieren. Der zweite Weg führt über das Geoprocessing Tool «Segment Mean Shift», welches im Modelbuilder eingebunden werden kann, jedoch trotz identischer Einstellungsmöglichkeiten wie bei der Segmentierung über die «Classification Tools» andere Ergebnisse lieferte. Nach diversen Versuchen und der Erarbeitung des Tools für überdeckte Asthaufen wurde dieser Ansatz wieder verworfen und stattdessen eine vereinfachte Reklassifizierungsmethode angewendet. Durch das Wegfallen der Segmentierung eröffnete sich zudem die Möglichkeit der Zusammenführung der beiden Tools für freistehende und bedeckte Asthaufen in ein einzelnes Tool («constrained LAS to piles»). Im Folgenden wird dieser erste Ansatz zur Erkennung von Einzelbäumen und Einzelsträuchern anhand der Segmentierung über die «Classification Tools» trotzdem kurz vorgestellt. Benannt wurde dieser Prozess mit «segmented nDSM to points».

Das segmentierte nDSM wird über das Tool «Raster to Polygon» in ein Polygon umgewandelt (Abb. 20). Dabei wird die Option «Simplify polygons» aktiviert, um die pixelartigen Kanten der Polygone zu glätten. Anhand des Tools «Zonal Geometry» wird der Schwerpunkt der Polygone berechnet, welcher als Punktelayer ausgegeben wird und den jeweiligen Standort des entsprechenden Objekts repräsentiert. Diesen Punkten werden in den nachfolgenden Schritten weitere Attribute hinzugefügt. Über das Werkzeug «Zonal Statistics» und «Add Surface Information» wird dem Punktelayer der grösste Höhenwert des nDSM innerhalb der jeweiligen Polygone hinzugefügt.

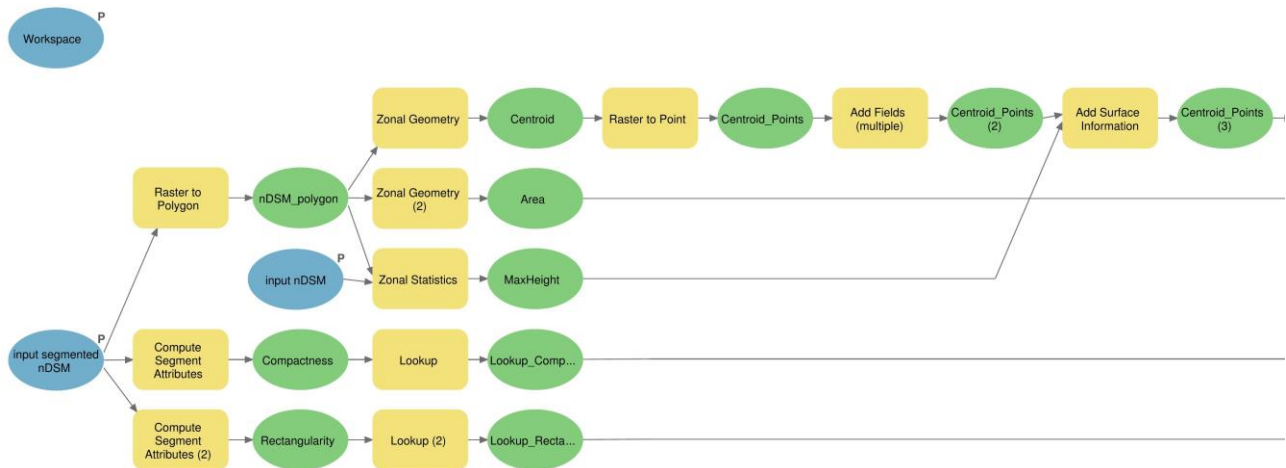


Abb. 20: Teil 1 des Tools «segmented nDSM to points»

Anhand des Tools «Zonal Geometry» wird die Fläche des Polygons dem Punktelayer hinzugefügt. Über «Compute Segment Attributes» werden die Attribute «Compactness» und «Rectangularity» pro Segment berechnet und dem Punktelayer hinzugefügt (Abb. 20 und 21). Die Werte dieser Attribute umfassen einen Bereich von 0 bis 1. «Compactness» gibt den Grad der Kreisförmigkeit an und beträgt 1, wenn die Geometrie des Segments einem Kreis entspricht. «Rectangularity» gibt den Grad der Rechteckigkeit an und beträgt 1, wenn die Geometrie des Segments einem Rechteck entspricht.

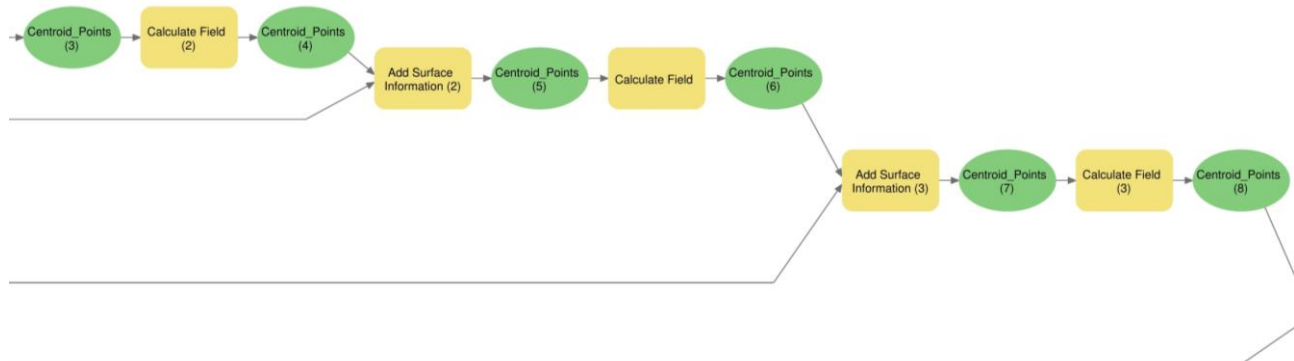


Abb. 21: Teil 2 des Tools «segmented nDSM to points»



Basierend auf den zuvor berechneten Attributen erfolgt mit dem Werkzeug «Make Feature Layer» eine einfache Einteilung in Einzelbaum oder Einzelstrauch (Abb. 22). Für die Kategorie Einzelbaum wurde als Höhenkriterium  $> 6$  m festgelegt und als Flächenkriterium der Bereich zwischen  $40 \text{ m}^2$  und  $300 \text{ m}^2$ . Für das Attribut «Compactness» wurde die Schwelle  $> 0.9$  gewählt, für «Rectangularity» die Schwelle  $< 0.9$ . Dieser Schwellenwert wurde gleichermassen auch für die Kategorie Einzelstrauch verwendet. Als Höhenkriterium für die Kategorie Einzelstrauch wurde der Bereich zwischen  $2 \text{ m}$  und  $6 \text{ m}$ , als Flächenkriterium der Bereich zwischen  $8 \text{ m}^2$  und  $50 \text{ m}^2$  festgelegt. Die Bestimmung dieser Kriterien erfolgte heuristisch. Über das Werkzeug «Copy Features» erfolgt schliesslich die Ausgabe in Form zweier separater Punktelayer (Abb. 22).

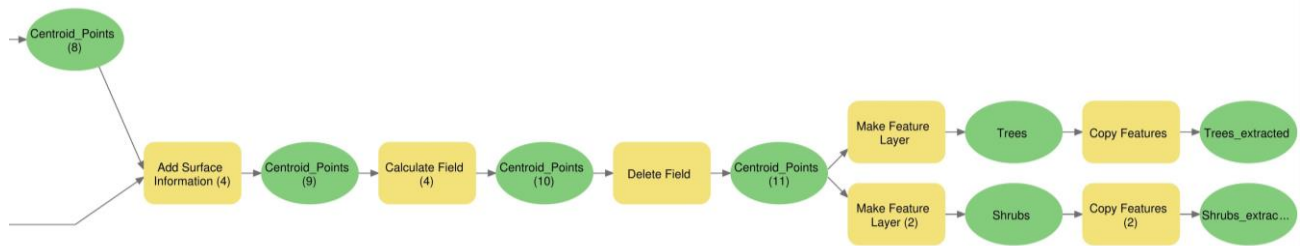


Abb. 22: Teil 3 des Tools «segmented nDSM to points»

Es folgt ein Beispiel des Tools «segmented nDSM to points». Gewählt wurde das Untersuchungsgebiet von Scherl (2018), westlich des Ausees (Abb. 23).

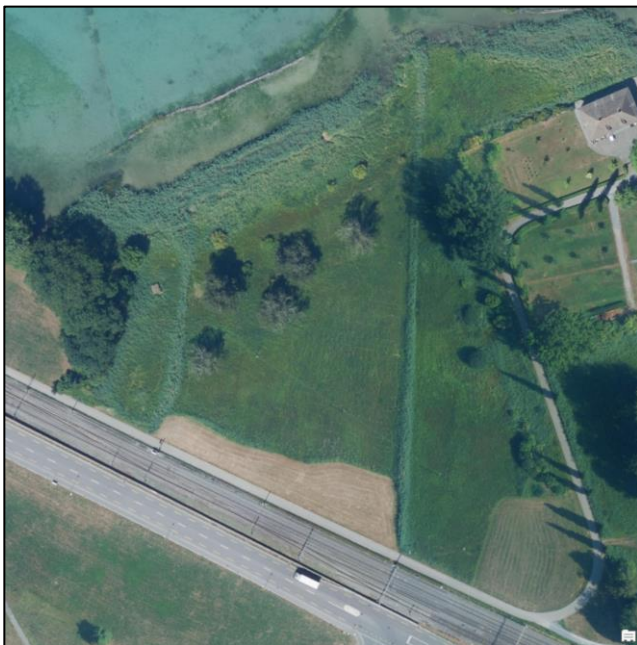


Abb. 23: Luftbild des Untersuchungsgebiets im Massstab 1:1000 (GIS ZH, 2015)

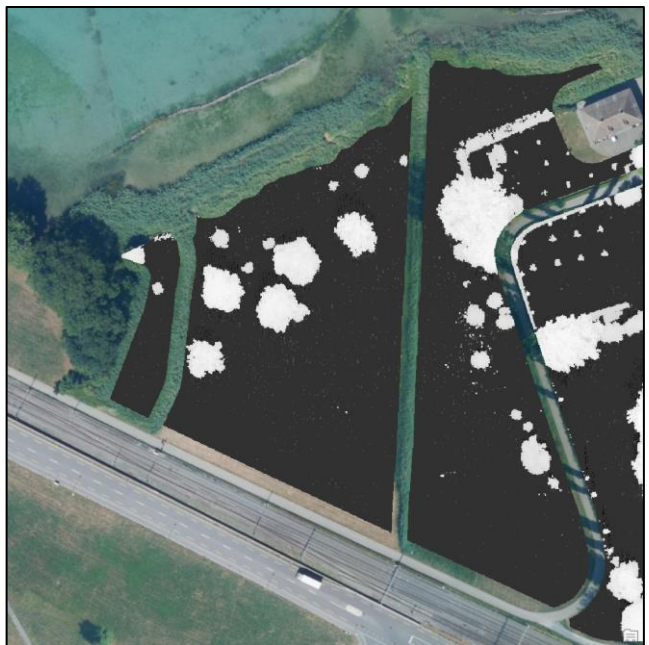


Abb. 24: Oberflächenbeschränktes nDSM, generiert mit Workflow in Kapitel 3.4.1. nDSM Stretch Type «Histogram Equalize» für erhöhten Kontrast der Objekte

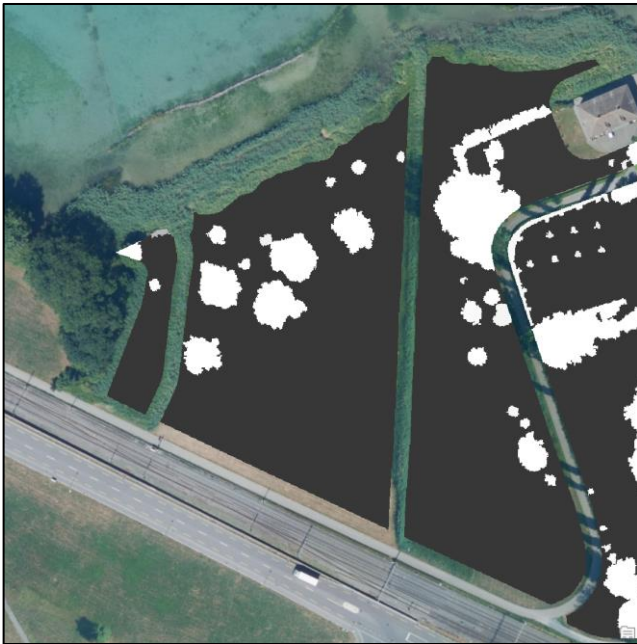


Abb. 25: Segmentiertes nDSM anhand Segmentierungsmethode über die «Classification Tools». «Spectral» und «Spatial detail» auf Standardeinstellung, «Minimum segment size in pixels» 50



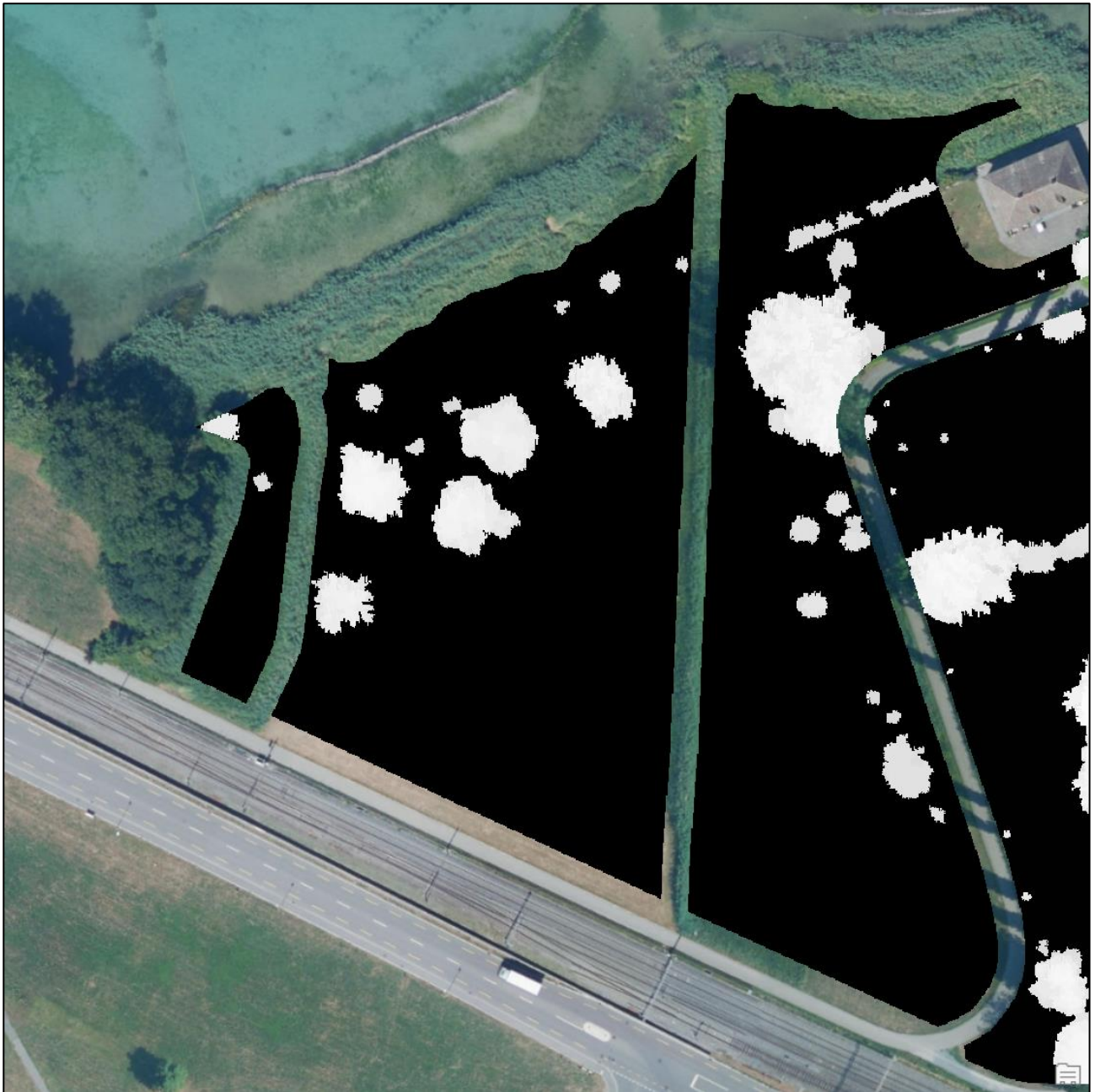
Abb. 26: Output des Tools «segmented nDSM to points». Im Westen ein falsch klassifizierter kleiner Schuppen, dessen Masse die genannten Kriterien erfüllen

○ Einzelbaum

○ Einzelstrauch

Abb. 24 zeigt das «beschnittene» nDSM, wie es in dem Workflow «constrained LAS to DEM nDSM» generiert wird. Abb. 25 zeigt das segmentierte Raster und Abb. 26 den Output des Tools «segmented nDSM to points». Darin ist im Westen ein kleiner Schuppen zu sehen, welcher fälschlicherweise als Strauch extrahiert wurde aufgrund ähnlicher Höhe, Fläche und Segmentattribute. Abb. 27 zeigt den Unterschied zwischen den beiden Segmentierungsarten auf.





*Abb. 27: Segmentierung anhand des Tools «Segment Mean Shift». Trotz identischer Einstellungen ergeben sich unterschiedliche Ergebnisse, erkennbar an der Anzahl Segmente. Auch im Esri Community Forum konnte dafür keine Erklärung gefunden werden*

Im Folgenden wird das Teilmodell für freistehende Asthaufen vorgestellt, wie es im Gesamtool zur Anwendung kommt. Benannt wurde dieses Teilmodell als «detached». Anstelle der Bildsegmentierung tritt eine einfache, höhenbasierte Reklassifizierung der Pixel anhand des Werkzeugs «Reclassify» (Abb. 30). Rasterzellen mit Höhenwerten im Bereich von 0.4 m - 2 m werden dem Wert 1 zugewiesen sowie Rasterzellen mit allen anderen Werten der Wert 0. Über die Werkzeuge «Expand» und «Shrink» folgt ein Korrekturschritt, um kleine Unregelmässigkeiten wie Löcher zu bereinigen. Diese können bei der Interpolation durch Unterschiede in der Punkteklassifizierung und / oder durch die Heterogenität der LiDAR-Punktwolke in Kombination mit der gewählten, hohen Auflösung der Geländemodelle, entstehen (Abb. 28). Dafür werden die entsprechenden Zellen des reklassifizierten Rasters zuerst um zwei Zellen vergrössert und anschliessend wieder um dieselben zwei Zellen verkleinert (Abb. 29). Nach der Konvertierung des Rasters ins Vektorformat folgt über das Tool «Make Feature Layer» eine Selektion anhand der Fläche der Polygone, mit der Option «Simplify polygons» deaktiviert. Die Schwellenwerte von  $> 2 \text{ m}^2$  und  $< 24.6 \text{ m}^2$  wurden in Kombination mit der nachfolgenden Kantenglättungsstufe festgelegt.

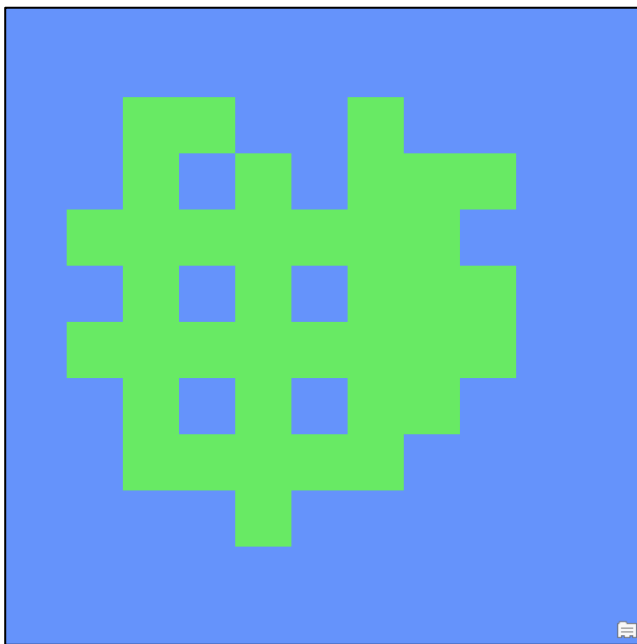


Abb. 28: Asthaufen «strktr\_d 295» nach der nDSM-Reklassifizierung

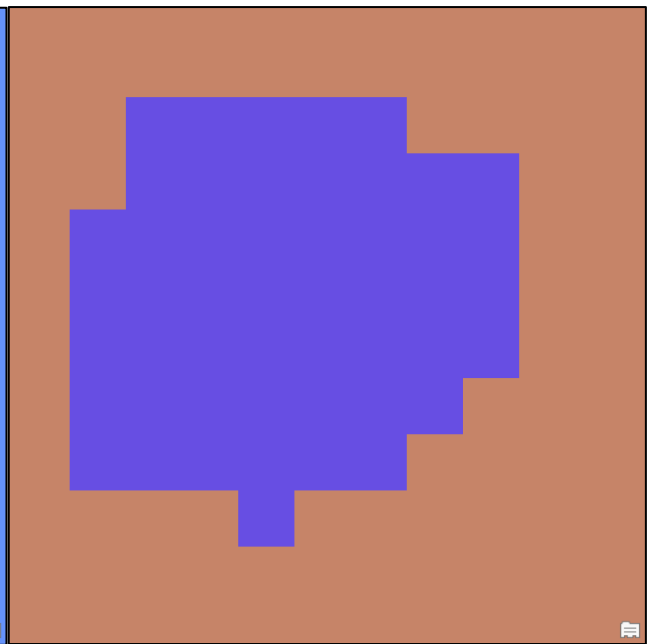


Abb. 29: Asthaufen «strktr\_d 295» nach Abfolge «Expand» «Shrink»

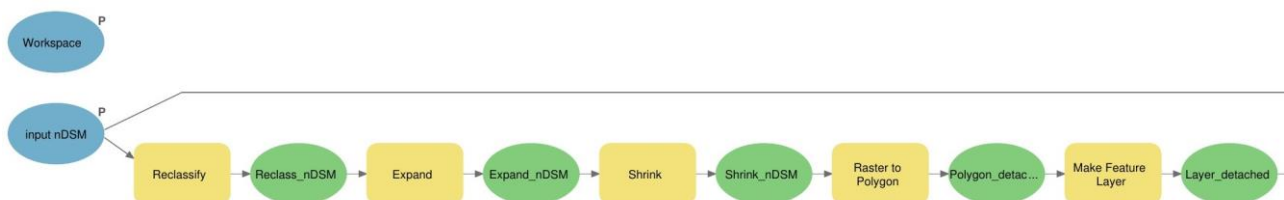


Abb. 30: Teil 1 des Tools «detached»



Es wurde festgestellt, dass durch die Festlegung der minimalen Höhe von 0.4 m bei der Reklassifizierung der Ansatz der Asthaufen am Boden exkludiert wird. Um diese Teilfläche miteinzugliedern sowie die Kanten der noch rasterförmigen Polygone zu glätten, wurde als Kantenglättungsstufe eine Kombination aus 3 Werkzeugen zwischengeschaltet. Dieser Schritt besteht aus zwei Puffern sowie dem Tool «Smooth Polygon» (Abb. 31). Aufgrund der Idee, die Ausdehnung der Polygone dadurch näher an die Realität zu approximieren, wurde die beim Puffervorgang «neu» hinzukommende Fläche von den Flächen-Schwellenwerten des Tools «Make Feature Layer» subtrahiert. Für die Berechnung dieser Teilfläche wurde von der stark vereinfachten Annahme eines idealen, kreisförmigen Asthaufens ausgegangen. Die Puffergrössen von jeweils + 10 cm ergeben hiermit eine Radiusverlängerung von insgesamt + 20 cm. Bei einem Schwellenwert von 2 m<sup>2</sup> entspricht der Radius 0.8 m vor und 1 m nach der Kantenglättungsstufe, während bei einem Schwellenwert von 24.6 m<sup>2</sup> der Radius 2.8 m vor und 3 m nach der Kantenglättungsstufe entspricht. Die Schwellenwerte sollten dazu führen, dass nur Asthaufen bzw. Objekte mit einem Flächenradius grösser als 1 m und kleiner als 3 m für die Weiterverarbeitung berücksichtigt werden.

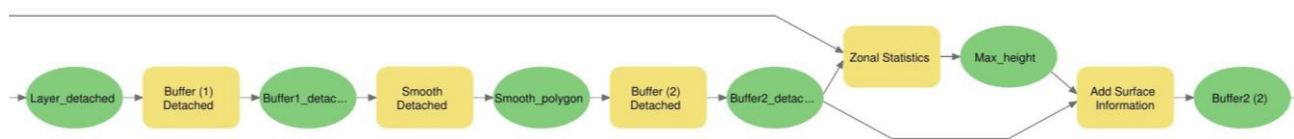


Abb. 31: Teil 2 des Tools «detached»

Über die Werkzeuge «Zonal Statistics» und «Add Surface Information» wird den Polygonen der jeweilige maximale Höhenwert des nDSM innerhalb des entsprechenden Polygons angefügt (Abb. 31). Dieser Schritt ist erforderlich, da der Korrekturschritt mit den Werkzeugen «Expand» und «Shrink» unter Umständen einzelne Pixel zu grösseren Objekten fusioniert. Dies ist am Beispiel von Hochspannungsleitungen deutlich zu erkennen (Abb. 32 und 33). Die auf diese Weise hinzugefügten maximalen Höhenwerte ermöglichen in einem späteren Schritt die Deselektion der fehlerhaften Polygone.

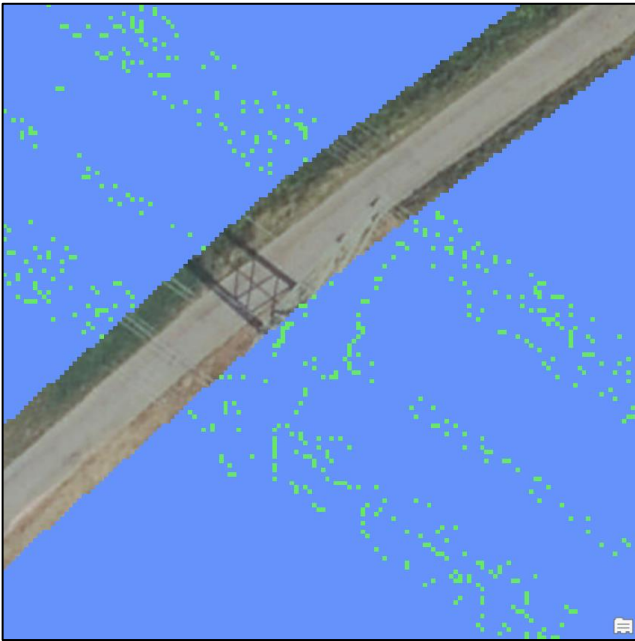


Abb. 32: Einzelne, fehlerhaft interpolierte Pixel

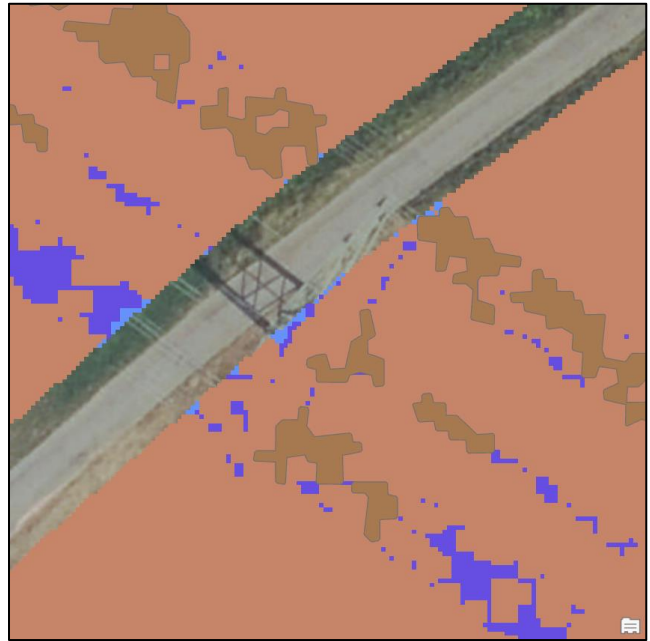


Abb. 33: Raster nach der Stufe «Expand» «Shrink», überlagert mit den daraus resultierenden, fehlerhaften Polygonen nach der Kantenglättungsstufe

Die folgenden drei Werkzeuge «Add Geometry Attributes», «Add Field» und «Calculate Field» dienen der Berechnung des Polsby-Popper Werts pro Polygon (Abb. 37). Dieser Parameter ist ein mathematisches Mass für die Kompaktheit einer Form. Er beschreibt in diesem Fall das Verhältnis der Fläche eines Polygons zur Fläche eines Kreises, dessen Umfang dem Umfang desselben Polygons entspricht und kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Je näher dieser Wert bei 1 liegt, desto kreisförmiger bzw. kompakter der Polygon (Polsby & Popper, 1991). In Abb. 36 ist die Formel für die Berechnung des PP-Werts ersichtlich. Da Asthaufen überwiegend eher kuppenartig rundlich geformt sind, können anhand dieses Kompaktheitsgrades potenzielle Asthaufen-Polygone von fehlerhaften Polygonen wie z. B. von länglichen Objekten stammend, getrennt werden. Solche Polygone können auch aufgrund der Interpolierung in Grenzbereichen entstehen, z. B. an Waldrändern (Abb. 34 und 35). Der PP-Wert ermöglicht deren Exklusion.

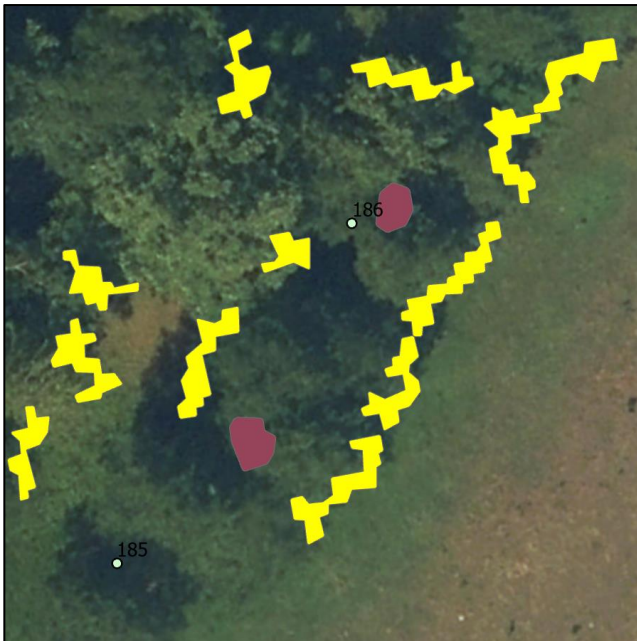


Abb. 35: Beispiel Waldrand 2D. Fehlerhafte Polygone in Gelb werden mittels PP exkludiert. Violette Polygone sind Output des Tools

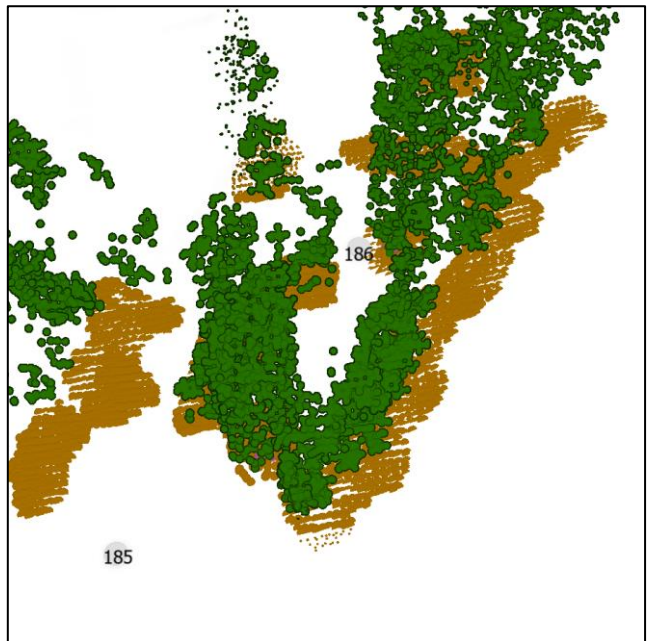


Abb. 34: Beispiel Waldrand 3D. Fehlerhafte Polygone werden mittels PP exkludiert

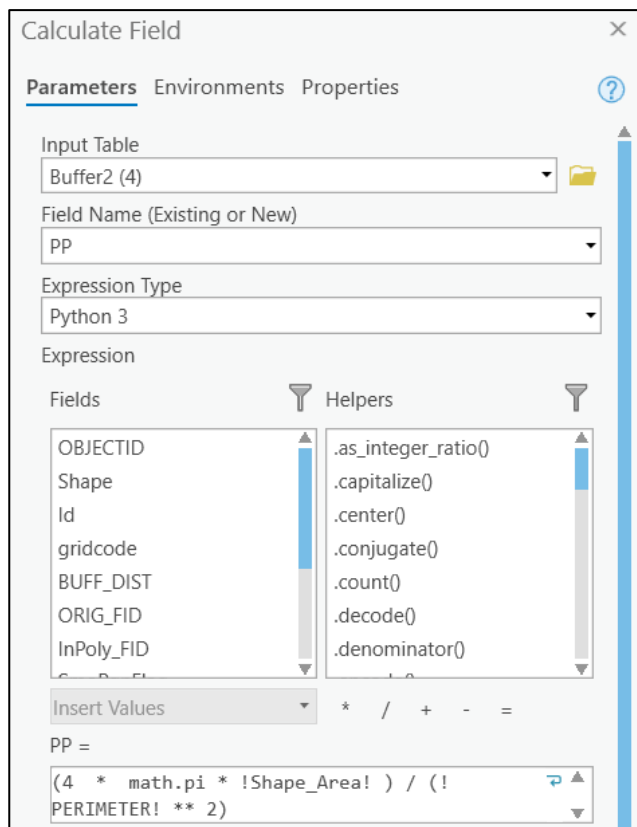


Abb. 36: Berechnung PP

Schliesslich erfolgt über das Werkzeug «Make Feature Layer» eine Selektion jener Polygone mit Maximalhöhe  $< 2$  m sowie PP  $> 0.6$  m. Deren Ausgabe erfolgt anhand des Tools «Copy Features» (Abb. 37).



Abb. 37: Teil 3 des Tools «detached»

### 3.4.3 Überdeckte Asthaufen «covered»

Im Folgenden wird das Teilmodell für überdeckte Asthaufen vorgestellt, wie es im Gesamttool zur Anwendung kommt. Benannt wurde dieses Teilmodell als «covered».

Naturgemäss war bei den überdeckten Asthaufen die Möglichkeit, die Höheninformation aus einem nDSM zu gewinnen, nicht mehr gegeben, da dieses aus der Subtraktion von DSM mit DEM berechnet wird und deshalb unter der Vegetationsdecke liegende Objekte nicht enthält. Nach der qualitativen Analyse wurde deutlich, dass die LiDAR-Punkte der überdeckten Asthaufen überwiegend der Klasse Boden zugehörig sind. Somit wurde eine abgewandelte Form des Modells von Riley (2009) angewendet. Diese basiert auf der Berechnung von vier verschiedenen Parametern auf Basis des DEM. In dieser Arbeit wurden drei dieser Parameter verwendet, nämlich Höhe, Steigung und Expositionsdiversität.

Höhe definiert sich über die Differenz zwischen den minimalen und maximalen Höhenwerten innerhalb einer bestimmten Umgebung (Riley, 2009). Anhand des Werkzeugs «Focal Statistics» wird für jede Zelle des DEM die Durchschnittshöhe der Nachbarszellen innerhalb eines die Zelle umgebenden Kreises mit 2 m Radius berechnet (Abb. 38). Dies entspricht dem Durchschnitt der festgelegten Flächengrenzen für Asthaufen, welche vom Tool berücksichtigt werden sollen, also einem Kreis mit minimal 1 m Radius sowie maximal 3 m Radius. Dadurch sollte ein Grossteil der Asthaufen abgedeckt werden können. Mit der nachfolgenden Subtraktion des dabei entstandenen Rasters vom DEM entsteht eine Art Pseudo-nDSM, dessen Höhenwerte allerdings aufgrund der Berechnung des «Focal Statistics»-Rasters anhand der Durchschnittshöhen etwa um den Faktor zwei zu gering sind. Dieser Umstand wird mit der anschliessenden Verdopplung der Höhenwerte des Pseudo-nDSM über das Werkzeug «Raster Calculator» wieder ausgeglichen. Die Festlegung dieses Faktors erfolgt stark vereinfacht anhand mehrerer Beobachtungen und Messungen direkt an der Punktwolke. Natürlich variiert dieser Faktor je nach Dimension und Geometrie des Objekts signifikant, der einfache Ausgleich mit Faktor 2 wie oben beschrieben wurde jedoch für den Zweck dieser Arbeit als ausreichend empfunden. Anschliessend folgt eine Reklassifizierung der Pixel mit den Höhengrenzwerten 0.4 m bis 2 m. Zellen innerhalb dieses Bereichs wird der Wert 1, Zellen ausserhalb dieses Bereichs der Wert 0, zugeteilt (Abb. 38).

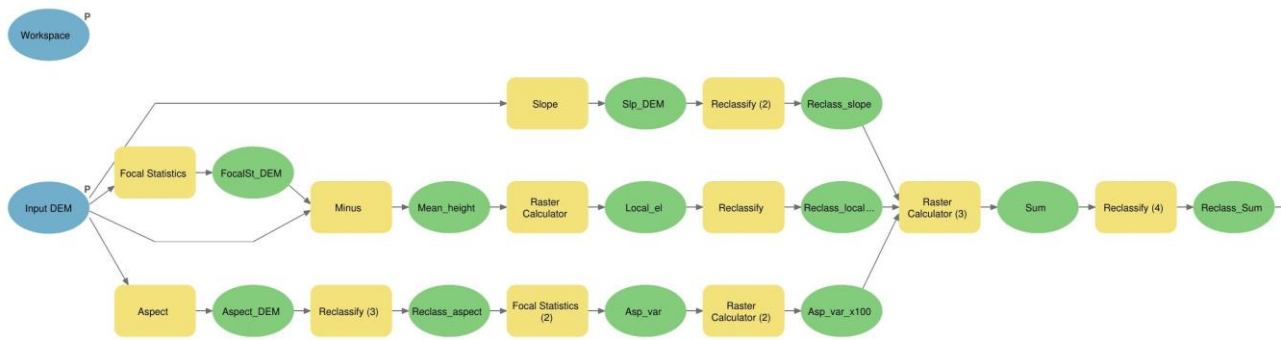


Abb. 38: Teil 1 des Tools «covered»

Über das Werkzeug «Slope» wird der zweite Parameter, die Steigung jeder Zelle des DEM zur benachbarten Zelle in Grad berechnet (Abb. 38). Die anschliessende Reklassifizierung auf den Wert 20 für jene Zellen mit einer Steigung im Bereich 20° bis 50° findet anhand des Tools «Reclassify» statt. Den Zellen, welche nicht in diesen Bereich fallen, wird der Wert 10 zugeteilt. Die Festlegung dieser Grenzwerte erfolgt ebenfalls heuristisch anhand mehrerer Versuche.

Mithilfe des Tools «Aspect» folgt die Berechnung der Exposition jeder Zelle des DEM in Grad (Abb. 38). Der Grund für die Verwendung der Steigung als Parameter ist die Annahme, dass ein idealer Asthaufen vereinfacht gesagt halbkugelförmig und somit in alle Himmelsrichtungen exponiert ist. Die Reklassifizierung erfolgt pro Achtel Himmelsrichtung, wobei der Wert -1 für flaches Gelände steht (Abb. 41). Mit dem Werkzeug «Focal Statistics» wird anschliessend für jede Zelle des reklassifizierten Rasters die Expositionsvariabilität der Nachbarszellen innerhalb eines die Zelle umgebenden Kreises mit 2 m Radius berechnet. Dieser Wert wird mit 100 multipliziert, sodass die drei Raster mithilfe des «Raster Calculator» addiert und zu einem Raster vereinigt werden können, welche die Werte aller drei Parameter enthält (Abb. 38). Die daraus entstandene Rasterdatei wird sogleich ebenfalls reklassifiziert. Zellen mit den Werten 721, 821 sowie 921 wird der Wert 2 zugeteilt (Abb. 42), um die relevanten Rasterzellen als Ganzes in Polygone umzuwandeln.

Zuerst wird jedoch ebenfalls der Korrekturschritt, bestehend aus der Kombination von «Expand» und «Shrink», appliziert (Abb. 39). Anschliessend folgt die Kantenglättungsstufe. Hier wird nun allerdings eine Pufferlänge von jeweils 20 cm verwendet, insgesamt 40 cm. Nach einigen Versuchen schien diese Konfiguration den Layer am besten an die im LiDAR sichtbaren Asthaufen zu approximieren.



Abb. 39: Teil 2 des Tools «covered»

Wie auch bereits in Kapitel 3.4.2 findet danach die Berechnung des PP-Werts, die Selektion des Layers per Attribut sowie dessen Ausgabe statt (Abb. 40).



Abb. 40: Teil 3 des Tools «covered»

**Reclassify (3): Reclassify**

Parameters Environments Properties

Input raster: Aspect\_DEM

Reclass field: VALUE

Reclassification

Start	End	New
-1	-1	1
0	22.5	2
22.5	67.5	3
67.5	112.5	4
112.5	157.5	5
157.5	202.5	6
202.5	247.5	7
247.5	292.5	8
292.5	337.5	9
337.5	360	2
NODATA	NODATA	NODATA

Unique Classify

Output raster: Reclass\_aspect

☐ Change missing values to NoData

OK

Abb. 41: Reklassifizierung der Exposition

**Reclassify (4): Reclassify**

Parameters Environments Properties

Input raster: Sum

Reclass field: Value

Reclassification

Start	End	New
0	720	NODATA
721	721	2
722	820	NODATA
821	821	2
822	920	NODATA
921	921	2
NODATA	NODATA	NODATA

Unique Classify

Output raster: Reclass\_Sum

☐ Change missing values to NoData

OK

Abb. 42: Reklassifizierung relevanter Rasterzellen



## 4 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Resultate der qualitativen Analyse sowie die Resultate und die Vorgehensweise bei der Auswertung des Gesamttools dargestellt.

### 4.1 Qualitative Datenanalyse

Bei 83.2 % der total 202 Referenzpunkte wurde im Umkreis von 10 m ein oder mehrere Asthaufen im LiDAR-Datensatz erkannt (Tab. 5). Bei 5.9 % waren keine Asthaufen im Umkreis von 20 m um den Referenzpunkt ersichtlich. Bei 4.5 % der Referenzpunkte waren Asthaufen im Umkreis von 20 m ersichtlich, während bei 6.4 % im Umkreis von 10 m Asthaufen ansatzweise erkennbar waren.

Ausgehend von den total 190 im LiDAR präsenten Asthaufen war die häufigste Punktekategorie der die Asthaufen darstellenden LiDAR-Punkte mit 61.6 % die Klasse 2 (Boden) (Tab. 5). Die Klasse 1 (unklassifiziert) hatte einen Anteil von 6.3 %, die Klasse 3 (Vegetation) einen Anteil von 14.2 %. Die Mischklasse 23 (Boden und Vegetation) hatte einen Anteil von 15.8 %, während die beiden anderen Mischklassen 12 (unklassifiziert und Boden) und 13 (unklassifiziert und Vegetation) zusammen 2.1 % ausmachten.

Von den total 190 im LiDAR präsenten Asthaufen waren 87.4 % überdeckt und 12.6 % freistehend (Tab. 5).

Tab. 5: Anzahl Asthaufen des Referenzdatensatzes pro Attribut

Attribut	p_in_LiDAR	dom_class	detached
<b>Wert</b>			
y	168		
n	12		
allo	9		
part	13		
1		12	
2		117	
3		27	
12		3	
13		1	
23		30	
y			24
n			166

### 4.2 Tool «constrained LAS to piles»

Für die Auswertung des Tools wurden dem Referenzdatensatz neue Attribute gemäss Tab. 6 zugeteilt. Unter «cause» wird der Grund für die gescheiterte Extraktion aufgeführt. Es können pro Asthaufen mehrere Gründe für eine Nichtextraktion zutreffen, jedoch wird pro Asthaufen jeweils nur ein Grund aufgelistet.

Tab. 6: Übersicht Attribute Auswertung Tool

Attribut	Wert (Bedeutung)	Definition
p_in_tool (present in tool)	y (yes)	Pro Referenzpunkt im Umkreis von 10 m ein oder mehrere Output-Polygone «piles extraced»
	n (no)	Pro Referenzpunkt im Umkreis von 10 m kein Output-Polygon
cause	allo (allocation)	Pro Referenzpunkt ein oder mehrere Output-Polygone vorhanden, jedoch Distanz zu Referenzpunkt > 10 m und < 20 m
	aspect	Expositionsdiversität zu gering
	bz (building zone)	Umgebung des Referenzpunktes durch Oberflächenbeschränkung Bauzone von der Prozessierung ausgeschlossen
	class	Dominante Punkteklasse verunmöglicht Erkennung durch Tool, z. B. überdeckte Asthaufen mit Klasse 3
	constraint	Umgebung des Referenzpunktes durch sonstige Oberflächenbeschränkung von der Prozessierung ausgeschlossen
	pp (Polsby-Popper)	Polygon vorhanden, wird jedoch aufgrund PP < 0.65 nicht ausgegeben
	size	Dimension des Asthaufens über bzw. unter Flächen- bzw. Hörschwellwerten gemäss Kapitel 3.4

Von den total 190 im LiDAR erkennbaren Referenzpunkten konnten im Umkreis von 10 m 63.7 % der Asthaufen mit dem Tool extrahiert werden (Tab. 7). 13.6 % wurden aufgrund von Oberflächenbeschränkungen von der Prozessierung ausgeschlossen und somit nicht extrahiert. Der Grossteil davon lag innerhalb des Bauzonenlayers. Bei 9.5 % war die dominante Punkteklassifizierung ausschlaggebend. Bei 3.7 % war die Distanz zwischen Polygon und Referenzpunkt grösser als dessen Lagegenauigkeit von 10 m, jedoch kleiner als 20 m. Bei 7.9 % war der Polsby-Popper-Wert der Polygone kleiner als 0.65 bzw. 0.6. Bei 2 Asthaufen lag deren Dimension nicht innerhalb der festgelegten Schwellwerte und bei einem Asthaufen war die Expositionsdiversität zu niedrig.

Tab. 7: Anzahl Asthaufen des Referenzdatensatzes pro Attribut

Attribut \ Wert	p_in_tool	cause
y	121	
n	69	
allo		7
aspect		1
bz		21
class		18
constraint		5
pp		15
size		2



In Abb. 43 und 44 sind als Beispiel die Referenzpunkte mit der ID «strktr\_d» 157, 158 und 159 zu sehen, wobei die blauen Polygone Teile des Outputlayers «Piles\_extracted» des Gesamttools darstellen. Die Distanz von Referenzpunkt zu Outputlayer ist unter 10 m.

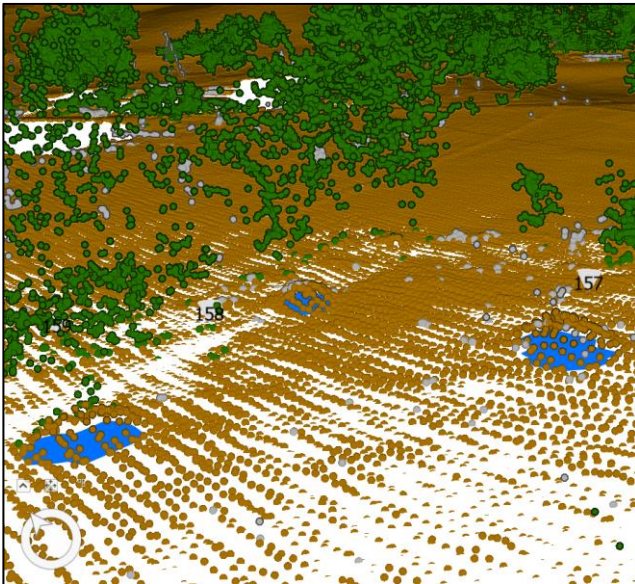


Abb. 43: 3D Ansicht Punktwolke mit blauem Ausgabepolygon. «strktr\_d» 157, 158 und 159



Abb. 44: 2D Ansicht Ausgabepolygon. «strktr\_d» 157, 158 und 159

Um zu prüfen, wie viele Objekte das Gesamttool ausserhalb der 20 m Referenzpunktkreise extrahiert, wurde es auf die LAS-Kachel 2694\_1230 angewendet, innerhalb derer sich auch ein Teil des Campus Grüental der ZHAW befindet. Da ein Grossteil davon durch den Bauzonenlayer exkludiert wurde, wurden nur die restlichen Oberflächenbeschränkungen appliziert. Abb. 45 stellt einen Ausschnitt davon dar. Darin zu sehen ist eine Vielzahl von unklaren «false positive» - Objekten, welche diversen Ursprungs sein könnten. Zu nennen wären da kleinere Kuppen, lokale Geländeerhebungen entlang von Strassenrändern, Bachläufen und Böschungskanten sowie Vegetations- oder artifizielle Strukturen. Ein Grossteil davon befindet sich im Wald. Das Tool benötigte für diese 1 km<sup>2</sup> grosse Kachel inklusive Bauzone ca. 17 Minuten. Der Output beinhaltet 663 Polygone, wovon die überwiegende Mehrheit aufgrund fehlender Referenzinformationen nicht beurteilt werden kann. Von den 14 im LiDAR sichtbaren Referenzpunkten innerhalb dieser Kachel wurden 6 Asthaufen extrahiert, 3 wurden aufgrund der restlichen Oberflächenbeschränkungslayer exkludiert, 3 infolge ihrer dominanten Punktekategorie und 2 aufgrund ihrer Grösse und Form.



Abb. 45: Beispiel Grüental. Beschriftete Referenzpunkte, «Surface Constraints» in Grün, Outputlayer des Gesamttools in Violett

## 5 Diskussion

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse gemäss dem Workflow der Arbeit interpretiert. Es werden Beispiele von Fällen dargelegt, bei welchen das Tool keine Asthaufen extrahieren konnte.

### 5.1 Qualitative Analyse

Eine Schwierigkeit bei der qualitativen Datenanalyse bestand anfangs in der Zuteilung der Asthaufen zum entsprechenden Referenzpunkt, wie z. B. im Falle der Anwesenheit eines möglichen LiDAR-Asthaufens sowie der Position des Referenzpunkts auf der gegenüberliegenden Seite eines Wassergrabens. Dies konnte mit der Zuweisung der Attribute, definiert in Kapitel 3.3, Tab. 3, teilweise gelöst werden. Durch die Lagegenauigkeit des LiDAR-Datensatzes von +/- 10 cm wurde dieses Vorgehen als ausreichend betrachtet. Jedoch bleibt eine gewisse Unschärfe, auch aufgrund der Ungenauigkeit des Referenzdatensatzes von ungefähr 10 m. Weiterhin erschwerten tiefhängende Vegetationsdecken eine Differenzierung von Asthaufen und Vegetation direkt in der Punktwolke. Zudem könnte eine mögliche zeitliche Diskrepanz (< 1 Jahr) zwischen der Erhebung des Referenzdatensatzes und des Laserscans das Ergebnis der Analyse beeinflusst haben.

### 5.2 Tool

Der häufigste Grund für eine Nichtextraktion war mit 26 Fällen die Exklusion des Asthaufens über Oberflächenbeschränkungslayer, davon 21 Fälle aufgrund des Bauzonenlayers. Dies stellt jedoch für ökologische Förderprojekte wahrscheinlich eher kein Problem dar, da solche eher weniger innerhalb der Bauzone geplant werden. Zudem kann der Input für die Oberflächenbeschränkungen innerhalb des Tools je nach Bedarf sehr einfach angepasst werden.

Der zweithäufigste Grund für eine Nichtextraktion war mit 18 Fällen die Punkteklassifizierung der Asthaufen. Ausschlaggebend dafür ist die Funktionsweise des Tools, welche es nicht ermöglicht, überdeckte Strukturen mit einer anderen Punkteklasse als Boden zu erkennen (Abb. 46). Die Lösung dieses Problems würde eine Umstrukturierung des Tools oder neuartige LiDAR-Klassifizierungsalgorithmen bedingen, welche solche bodennahen Kleinstrukturen konstant einheitlich klassifizieren könnten. Höhere Punktedichten können, vor allem im Wald, ebenso mithelfen, Objekte innerhalb der Punktwolke abzugrenzen. Hamraz et al. (2017) haben gezeigt, dass mit sehr hohen Punktedichten (~170 Punkte pro m<sup>2</sup>) der Unterwuchs mit einer hohen Genauigkeit segmentiert werden kann. Dies würde jedoch, abgesehen von der Verfügbarkeit solch hoch aufgelöster Daten, andere Software, sowie eine höhere Rechenleistung aufgrund der Dateigrössen, voraussetzen.



Im swissSURFACE3D Datensatz kam es des Öfteren vor, dass die Punkte der Haufen unterschiedlich klassifiziert wurden. Abb. 47 zeigt ein Beispiel. Dabei repräsentieren in der Mitte des Bildes hauptsächlich als Vegetation klassifizierte Punkte den eigentlichen Asthaufen, während der Ansatz des Haufens als Boden klassifiziert wurde und vom Tool erkannt und extrahiert wurde.

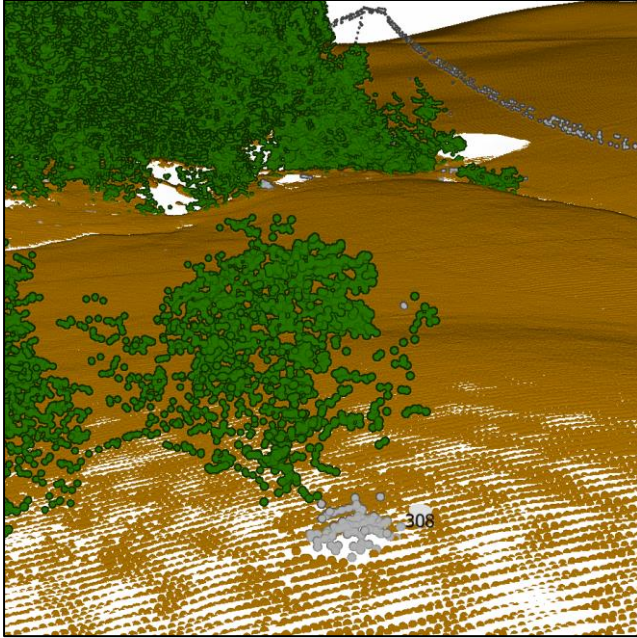


Abb. 46: Beispiel für überdeckte Asthaufen, welche aufgrund Punkteklassifizierung von beiden Tools nicht erkannt werden. «strktr» 308

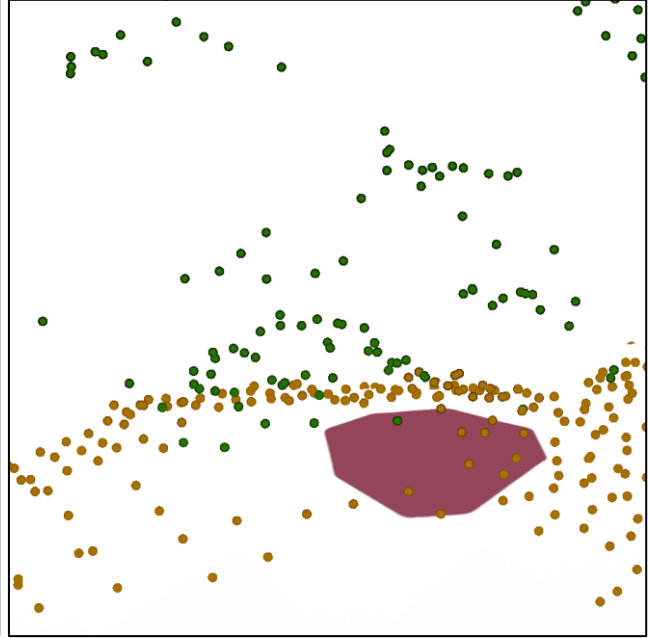


Abb. 47: Beispiel unterschiedliche Punkteklassifizierung. «strktr» 138

Ein weiteres Beispiel dafür ist in Abb. 48 und 49 dargestellt. Jedoch kommt hier noch die Geländesituation einer Hangkante dazu. Der eigentliche Asthaufen wurde als Klasse Vegetation klassifiziert, ist jedoch von Vegetation überdeckt und kann vom Tool somit nicht erkannt werden. In unmittelbarer Nähe befindet sich eine haufenartige Struktur, welche entweder ein Asthaufen oder aber auch z.B. eine lokal auslaufende Hangkante darstellen könnte. Solche lokalen Erhebungen finden sich oft an Böschungskanten oder ähnlichem Terrain. Da diese Erhebung als Klasse Boden klassifiziert wurde, wird sie vom Tool extrahiert (violette Polygon). In der Tool-Auswertung wurden solche Situationen als nicht erkannt gewertet, da der eindeutig erkennbare Asthaufen aufgrund der Punktekategorie 3 nicht extrahiert wird. In solchen Fällen ist unter Umständen keine genaue Differenzierung zwischen Geländeform und Kleinstruktur möglich.

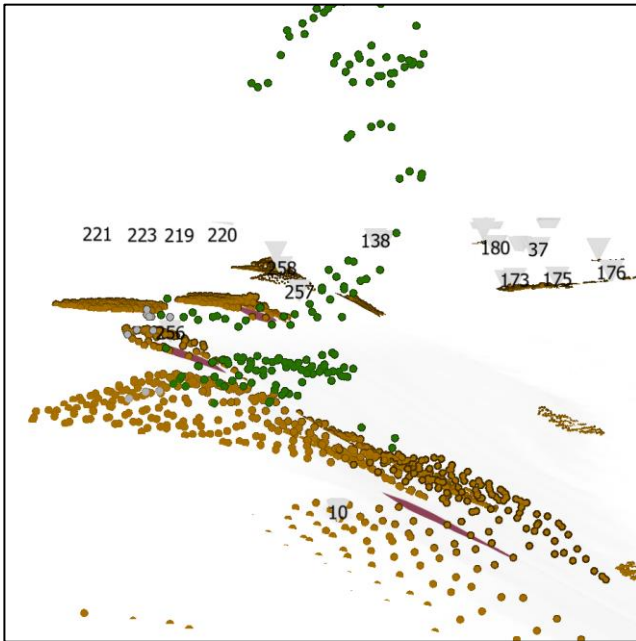


Abb. 48: Beispiel Hangkante, südliche Ansicht, «strktr\_d» 10

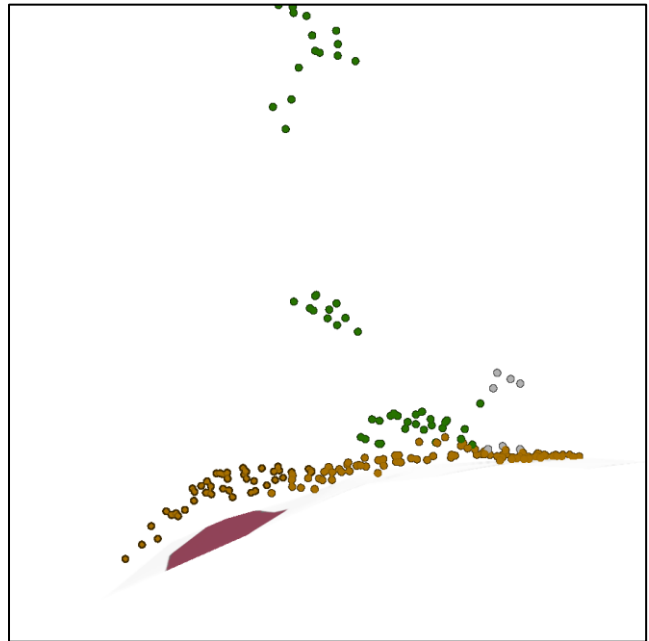


Abb. 49: Beispiel Hangkante, nördliche Profilansicht derselben Stelle, «strktr\_d» 10

Die Geländeform, auf welcher sich der Asthaufen befindet, kann z. B. einen Einfluss auf die Steigungswerte von dessen Rasterzellen, aber auch auf dessen lokale Höhendifferenz relativ zur Umgebung des Haufens, haben. Abb. 50 zeigt eine Situation, in welcher der Asthaufen in einer Böschung liegt. Die leicht ansteigende Form erinnert an eine rampenartige Struktur, welche im Kontext des schrägen Geländes die Kombination der Steigungs- und Expositionsdiversitätsgrenzwerte nicht erfüllt. Zudem weist der Asthaufen nur im vorderen Bereich die nötige Minimalhöhe auf.



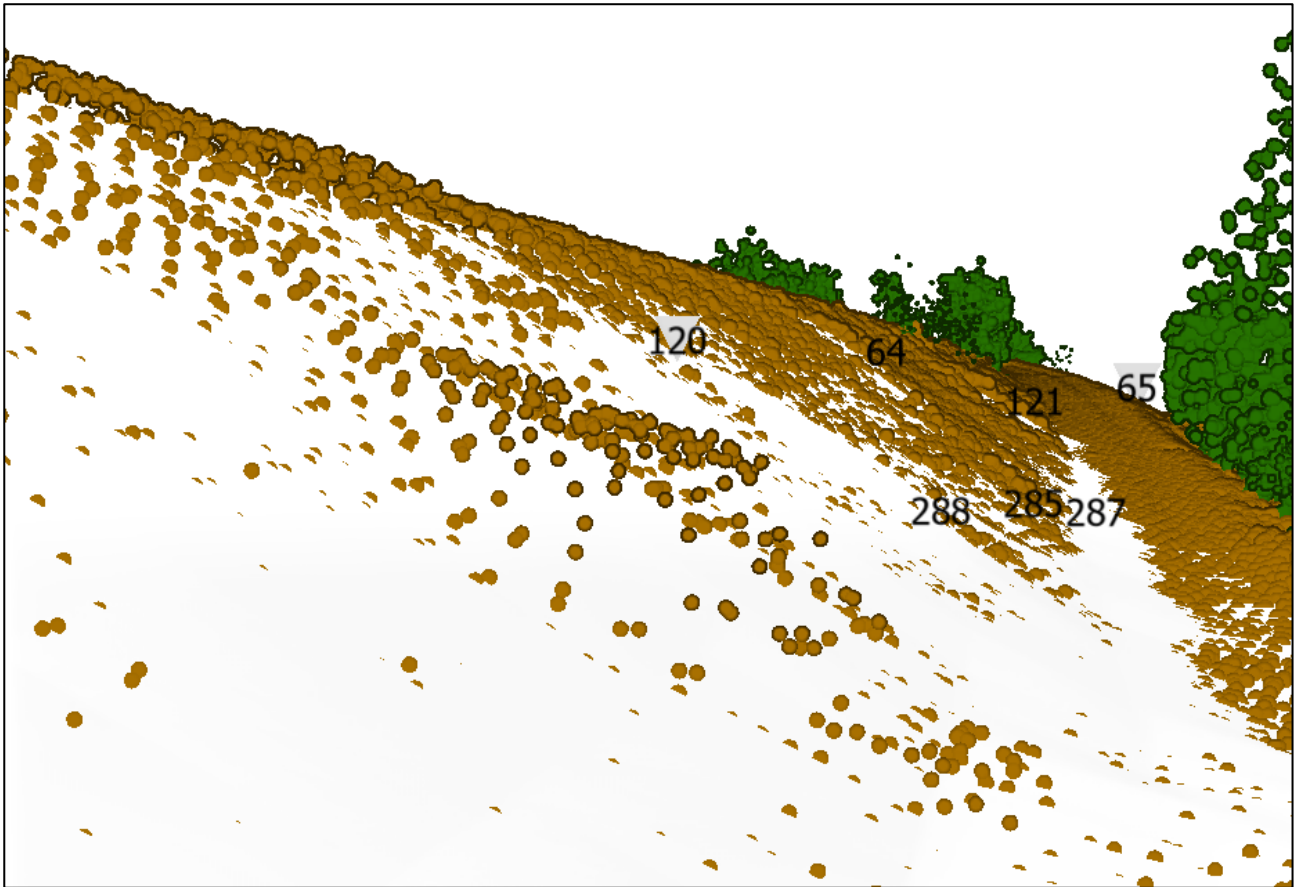


Abb. 50: Asthaufen «strktr» 120 in Böschung, aufgrund Standort nicht vom Tool erkannt

Der dritthäufigste Grund für eine Nichtextraktion war ein zu niedriger PP-Wert. Dies kann mehrere Ursachen haben, da sich die Polygone aus verschiedenen Attributen zusammensetzen. Im Folgenden einige Beispiele.

Abb. 51 und 52 zeigen ein Beispiel, wo der Asthaufen einseitig sehr flach ansteigt und damit an dieser Seite eine zu geringe Höhe und Steigung aufweist. Dies führt schlussendlich zu einem niedrigeren PP-Wert und somit zur Exklusion des Polygons.

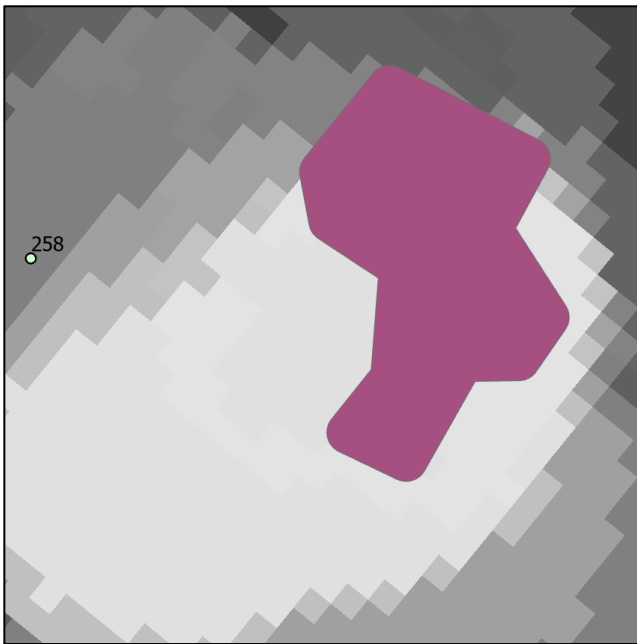


Abb. 51: 2D Ansicht «strktr\_d» 258. Violett der Layer «Buffer2\_covered», unterlagert mit Layer «Sum»



Abb. 52: 3D Ansicht «strktr\_d» 258

Auch die Punkteklassifizierung eines Haufens kann sich auf den PP-Wert auswirken. Wird ein deutlich abgegrenzter Teil des Asthaufens durch anders klassifizierte Punkte repräsentiert, kann dies zu einem zu geringen PP-Wert des Polygons führen, ähnlich wie bei Abb. 51.

Abb. 53 und 54 zeigen ein Beispiel eines zur Mitte hin flachen Haufens. Aufgrund der damit zu geringen Steigung wurden die Rasterzellen in der Mitte nicht miteinbezogen. Das resultierende Loch in der Mitte führte zu einem kleineren PP-Wert und zur Exklusion des Haufens im Output. In diesem Fall war der Wert der «Expand»«Shrink» Abfolge zu gering.



Abb. 53: Beispiel Loch in Polygon. Slope zu gering => PP zu gering. «strktr» 262

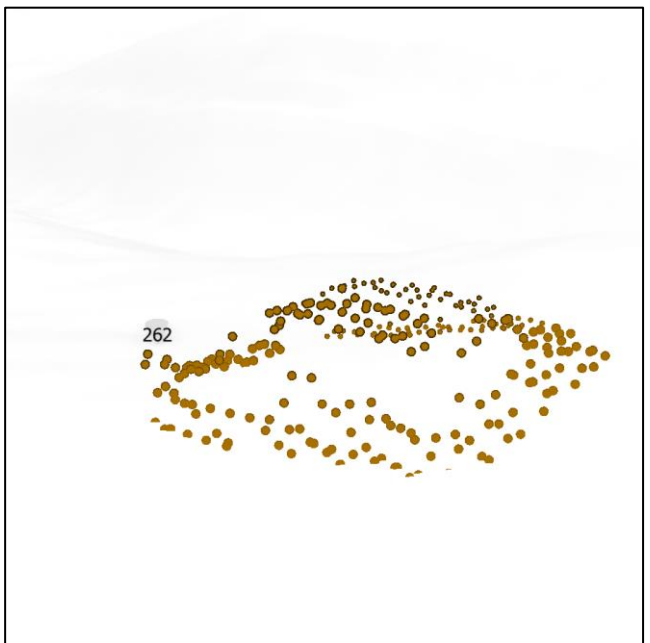


Abb. 54: Beispiel Loch in Polygon, 3D Ansicht. «strktr» 262

Abb. 55 und 56 zeigen hingegen einen Fall, wo der Wert der «Expand»«Shrink» Abfolge zu hoch war. Hier liegen zwei Asthaufen nahe beieinander und werden durch die Abfolge zu einem einzelnen, länglichen Polygon, dessen PP-Wert zu niedrig ist und deshalb nicht ausgegeben wird.



Abb. 55: Beispiel «Expand»«Shrink». Aus zwei Haufen wird ein Polygon. «strktr» 49

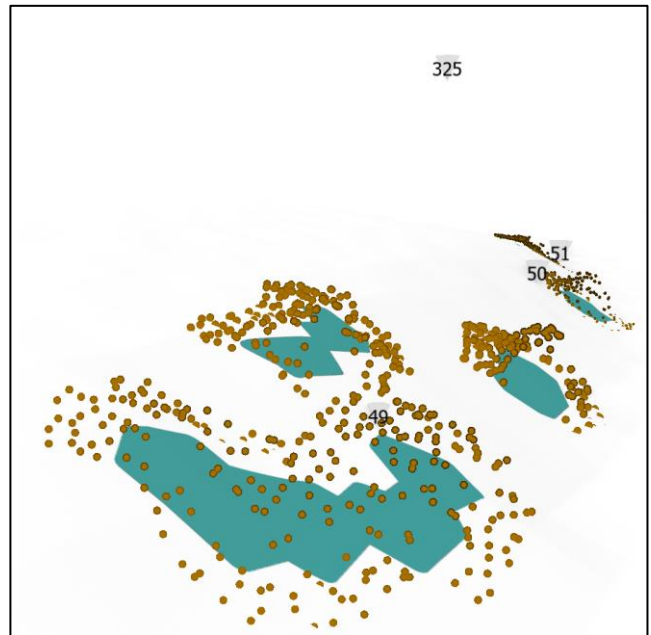


Abb. 56: Beispiel «Expand»«Shrink», 3D Ansicht. «strktr» 49

Das Grüental-Beispiel (Abb. 45) zeigt, dass viele von der Dimension und Form her haufenartige Strukturen vom Tool gleichermassen extrahiert werden. Abb. 57 und 58 verdeutlicht dies noch. Das Tool extrahiert in diesem Fall quadratische Heckenstrukturen auf dem Gartenareal des Campus Grüental. In Siedlungsnähe stellt dies für Förderprojekte weniger ein Problem dar, jedoch könnte die Unsicherheit über die Art des Objekts in der natürlichen Landschaft je nach Fragestellung eine gewisse Relevanz haben.



Abb. 57: Als Asthaufen extrahierte quadratische Heckenstrukturen auf dem Gartenareal des Campus Grüental

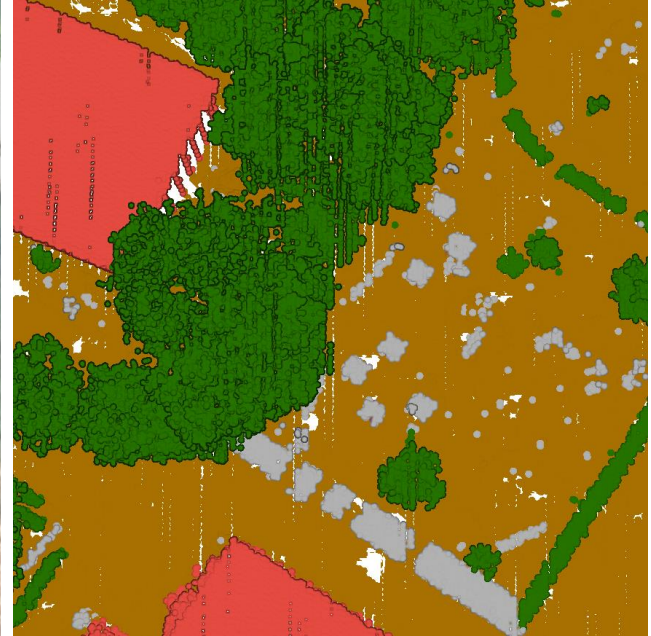


Abb. 58: 3D Ansicht derselben Stelle

Schliesslich werden Asthaufen, welche grösser oder kleiner sind als die definierten Grenzwerte im Tool nicht extrahiert. Eine Ausdehnung der Grenzwertspanne würde jedoch die Wahrscheinlichkeit für eine Extraktion von weiteren, nicht erwünschten Objekten stark erhöhen.

Da über drei Viertel der Asthaufen repräsentierenden LiDAR-Punkte als Boden klassifiziert wurde, wäre es denkbar, eine Reduktion des Tools dahingehend in Erwägung zu ziehen und den Fokus auf das Teiltool «covered» zu legen. Dies würde die Performance des Tools erhöhen, jedoch auch sämtliche anders klassifizierten Punkte und somit einen beachtlichen Teil von überwiegend freistehenden Objekten, nicht miteinbeziehen. Möglicherweise könnte die Notwendigkeit des Attributs PP bei einer Reduktion auf das Tool «covered» wegfallen, da dieses aufgrund der zwei zusätzlichen Attribute bereits beträchtlich weniger fehlerhafte Output Polygone aufweist. Bei einer Beibehaltung der zwei Teiltools wäre es denkbar, eine Integration der Attribute Steigung und Expositionsdiversität in das Tool «detached» zu prüfen.

## 6 Schlussfolgerung

Bei der Erarbeitung des Tools wurde vorwiegend heuristisch, also nach dem Prinzip «trial and error», gearbeitet. Es ist somit wahrscheinlich, dass für gewisse Prozesse bessere Lösungen innerhalb von ArcGIS Pro existieren. Weiterführende Schritte könnten einerseits aus einer Ausweitung des Tools auf andere Kleinstrukturen bestehen, andererseits aus Optimierungen hinsichtlich der Performance, wie dem Löschen von Zwischendateien. Je nach Fragestellung und Objektart wäre auch eine Integration anderer Geodaten denkbar, z. B. ein NDVI-Raster. Sinnvoll wäre zudem eine Optimierung der Genauigkeit des Tools, etwa eine feinere Abstimmung der Grenzwerte der verschiedenen Parameter sowie Verifizierungen der Objekte im Feld. Dies wäre jedoch wahrscheinlich mit arbeitsintensiven, quantitativen Vermessungen der Strukturen im Feld sowie im LiDAR-Datensatz verbunden.

Die qualitative Datenanalyse hat gezeigt, dass sich LiDAR gut dafür eignet, natürliche Kleinstrukturen wie Asthaufen zu erfassen. Des Weiteren zeigt das Tool, dass es möglich ist, innerhalb von ArcGIS Pro mit einfachen Mitteln einen halbautomatisierten Workflow zu erarbeiten, um aus LiDAR für Kleintiere potenziell relevante Strukturen abzuleiten und zu extrahieren. Die Arbeit liefert einen Ansatz zur Generierung räumlicher Daten von ökologischen Kleinstrukturen, welche heute nur selten verfügbar sind und für unterschiedliche Vernetzungsprojekte und Habitatmodellierungen interessant sein könnten. Zwar bedarf es noch weiterer Verbesserungen hinsichtlich Genauigkeit und Performance des Tools; es könnte jedoch bereits im Zuge einer ersten Grobanalyse eines Gebiets für ein Förderprojekt helfen, indikativ potenzielle Kleinstrukturen schneller zu identifizieren. Damit vermag diese Arbeit allenfalls einen kleinen Beitrag für die nachhaltige Erhaltung und Förderung der hiesigen Wieselpopulationen zu leisten.



## Literaturverzeichnis

- BirdLife. (2006). *Kleinstrukturen-Praxismerkblatt 1 Asthaufen und Wurzelteller*. SVS/BirdLife Schweiz.
- Black, K., Green, S., Mullooley, G., & Poveda, A. (2014). *Carbon Sequestration by Hedgerows in the Irish Landscape*. Environmental Protection Agency Ireland.
- Boschi, C., Krummenacher, J., & Müri, H. (2018). *Fördermassnahmen für Wiesel im Landwirtschaftsgebiet—Ein Ansatz zur Erhaltung der Biodiversität und zur Reduktion von Wühlmausschäden im Wiesland*. Stiftung WIN Wieselnetz.
- Boye, P. (2003). *Nagetiere in der Agrarlandschaft: Populationsökologie, Konkurrenz, Biotopverbund; Ergebnisse von Untersuchungen auf einer Probefläche bei Bonn*. Laurenti-Verlag.
- BUWAL. (1994). *Rote Listen der gefährdeten Tierarten der Schweiz*.
- Canuto, M. A., Estrada-Belli, F., Garrison, T. G., Houston, S. D., Acuña, M. J., Kováč, M., Marken, D., Nondédéo, P., Auld-Thomas, L., Castanet, C., Chatelain, D., Chiriboga, C. R., Drápela, T., Lieskovský, T., Tokovinine, A., Velasquez, A., Fernández-Díaz, J. C., & Shrestha, R. (2018). Ancient lowland Maya complexity as revealed by airborne laser scanning of northern Guatemala. *Science*, 361(6409). <https://doi.org/10.1126/science.aau0137>
- Demir, N., Poli, D., & Baltsavias, E. (2008). Extraction of buildings and trees using images and LiDAR data. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 6.
- Erlinge, S. (1974). Distribution, Territoriality and Numbers of the Weasel *Mustela nivalis* in Relation to Prey Abundance. *Oikos*, 25(3), 308. <https://doi.org/10.2307/3543948>
- Esri, A. (o. J.). *Segmentation*. ArcGIS Pro Dokumentation. Abgerufen 1. Juli 2020, von <https://pro.arcgis.com/de/pro-app/help/analysis/image-analyst/segmentation.htm>
- Esri, B. (o. J.). *Creating raster DEMs and DSMs from large lidar point collections*. ArcGIS Desktop Dokumentation. Abgerufen 13. Juni 2020, von <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/lidar-solutions-creating-raster-dems-and-dsms-from-large-lidar-point-collections.htm>

- Gehring, T. M., & Swihart, R. K. (2004). Home Range and Movements of Long-Tailed Weasels in a Landscape Fragmented by Agriculture. *Journal of Mammalogy*, 85(1), 79–86.  
[https://doi.org/10.1644/1545-1542\(2004\)085<0079:HRAMOL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1644/1545-1542(2004)085<0079:HRAMOL>2.0.CO;2)
- Guo, X., Coops, N. C., Gergel, S. E., Bater, C. W., Nielsen, S. E., Stadt, J. J., & Drever, M. (2018). Integrating airborne lidar and satellite imagery to model habitat connectivity dynamics for spatial conservation prioritization. *Landscape Ecology*, 33(3), 491–511.  
<https://doi.org/10.1007/s10980-018-0609-0>
- Hamraz, H., Contreras, M. A., & Zhang, J. (2017). Forest understory trees can be segmented accurately within sufficiently dense airborne laser scanning point clouds. *Scientific Reports*, 7(1), 9. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-07200-0>
- Hellesen, T., & Matikainen, L. (2013). An Object-Based Approach for Mapping Shrub and Tree Cover on Grassland Habitats by Use of LiDAR and CIR Orthoimages. *Remote Sensing*, 5, 558–583. <https://doi.org/10.3390/rs5020558>
- Höfle, B., & Hollaus, M. (2010). *Urban vegetation detection using high density full waveform airborne lidar data—Combination of object based image and point cloud analysis*. ISPRS TC VII Symposium, Wien.
- Holyoak, M. (2008). Connectance and Connectivity. In *Encyclopedia of Ecology* (S. 737–743). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00095-1>
- King, C. M., & Powell, R. A. (2006). *The Natural History of Weasels and Stoats: Ecology, Behavior, and Management*. Oxford University Press.
- Kowalczyk, Z., & Szymański, K. (2019). Classification of objects in the LIDAR point clouds using Deep Neural Networks based on the PointNet model. *IFAC-PapersOnLine*, 52(8), 416–421.  
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.08.099>
- Krause, A. U. M., Danes, M. H. G. I., Janssen, H., Kramer, H., & Rip, F. I. (2010). *Recording small landscape features by object recognition; Possibilities and limitations of automated procedures to support monitoring in the frame of the GeoCAP* (ISSN 1566-7197). Alterra.
- Kriegler, F. J., Malila, W. A., Nalepka, R. F., & Richardson, W. (1969). Preprocessing Transformations and Their Effects on Multispectral Recognition. *Proceedings of the 6th*

*International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 97–131.

<http://adsabs.harvard.edu/abs/1969rse..conf...97K>

Mandlburger, G., Höfle, B., Briese, C., Ressler, C., Otepka, J., Hollaus, M., & Pfeifer, N. (2009).

Topographische Daten aus Laserscanning als Grundlage für Hydrologie und Wasserwirtschaft. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 61(7), 89–97.

<https://doi.org/10.1007/s00506-009-0095-3>

Marchesi, P., Mermod, C., & Salzmann, H. C. (2010). *Marder, Iltis, Nerz und Wiesel: Kleine Tiere, große Jäger*. Haupt.

Martinuzzi, S., Vierling, L. A., Gould, W. A., Falkowski, M. J., Evans, J. S., Hudak, A. T., & Vierling, K. T. (2009). Mapping snags and understory shrubs for a LiDAR-based assessment of wildlife habitat suitability. *Remote Sensing of Environment*, 113(12), 2533–2546.

<https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.07.002>

McKinion, J. M., Willers, J. L., & Jenkins, J. N. (2010). Comparing high density LIDAR and medium resolution GPS generated elevation data for predicting yield stability. *Computers and Electronics in Agriculture*, 74(2), 244–249. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.08.011>

Meyer, A., Dušej, G., Monney, J.-C., Billing, H., Mermod, M., Jucker, K., & Bovey, M. (2011). *Praxismerkblatt Kleinstrukturen Holzhaufen und Holzbeigen*. karch.

Moreno-Gómez, M., Liedl, R., & Stefan, C. (2019). A New GIS-Based Model for Karst Dolines Mapping Using LiDAR; Application of a Multidepth Threshold Approach in the Yucatan Karst, Mexico. *Remote Sensing*, 11(10), 1147. <https://doi.org/10.3390/rs11101147>

Morsdorf, F., Mårell, A., Koetz, B., Cassagne, N., Pimont, F., Rigolot, E., & Allgöwer, B. (2010).

Discrimination of vegetation strata in a multi-layered Mediterranean forest ecosystem using height and intensity information derived from airborne laser scanning. *Remote Sensing of Environment*, 114(7), 1403–1415. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.01.023>

Müri, H. (2012). *Wieselförderung—Ein Konzept zur Stärkung der Wieselpopulationen im Mittelland*. Stiftung WIN Wieselnetz.

Müri, H. (2015). *Die kleine Wildnis: Einblicke in die Lebensgemeinschaft der kleinen Raubsäuger und ihrer Beutetiere in Mitteleuropa*. Haupt.

- Nagendra, H., Lucas, R., Honrado, J. P., Jongman, R. H. G., Tarantino, C., Adamo, M., & Mairota, P. (2013). Remote sensing for conservation monitoring: Assessing protected areas, habitat extent, habitat condition, species diversity, and threats. *Ecological Indicators*, 33, 45–59.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.09.014>
- Nyffeler, J. (2018). *Kulturlandschaft in neuem Licht: Eine Einführung zu LiDAR in der Archäologie*. University of Bamberg Press.
- Polsby, D. D., & Popper, R. (1991). The Third Criterion: Compactness as a Procedural Safeguard Against Partisan Gerrymandering. *SSRN Electronic Journal*.  
<https://doi.org/10.2139/ssrn.2936284>
- Ratnaweera, N. (2015). *Lebensraumanalyse für Hermelin (Mustela erminea), Mauswiesel (Mustela nivalis) und Iltis (Mustela putorius) am Zimmerberg. Projektarbeit*. ZHAW, unveröffentlicht.
- Riley, M. A. (2009). *Automated detection of prehistoric conical burial mounds from lidar bare-earth digital elevation models* [Master Thesis]. Department of Geology and Geography, North Missouri State University.
- Robin, K., Graf, R., & Schnidrig-Petrig, R. (2017). *Wildtiermanagement: Eine Einführung* (1. Aufl.). Haupt Verlag.
- Rottensteiner, F. (2008). *Automatic Extraction of buildings from Airborne Laserscanner Data and aerial images*. Heft Nr. 83, 148.
- Scherl, D. (2018). *Wiesel-Habitatvernetzung im Bezirk Horgen—Strukturen ableiten aus LIDAR-Daten* (S. 18). ZHAW, unveröffentlicht.
- swisstopo. (2016). *Objektkatalog swissTLM3D 1.4*. Bundesamt für Landestopografie.
- swisstopo. (2019). *SwissSURFACE3D - Die klassifizierte Punktwolke der Schweiz*. Bundesamt für Landestopografie.
- Tweedy, P. J., Moriarty, K. M., Bailey, J. D., & Epps, C. W. (2019). Using fine scale resolution vegetation data from LiDAR and ground-based sampling to predict Pacific marten resting habitat at multiple spatial scales. *Forest Ecology and Management*, 452, 11.  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117556>
- Ucar, Z., Bettinger, P., Merry, K., Akbulut, R., & Siry, J. (2018). Estimation of urban woody

- vegetation cover using multispectral imagery and LiDAR. *Urban Forestry & Urban Greening*, 29, 248–260. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.12.001>
- Vierling, K. T., Vierling, L. A., Gould, W. A., Martinuzzi, S., & Clawges, R. M. (2008). Lidar: Shedding new light on habitat characterization and modeling. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(2), 90–98. <https://doi.org/10.1890/070001>
- Zhao, R., Pang, M., & Wang, J. (2018). Classifying airborne LiDAR point clouds via deep features learned by a multi-scale convolutional neural network. *International Journal of Geographical Information Science*, 32(5), 960–979. <https://doi.org/10.1080/13658816.2018.1431840>
- Zheng, X., & Xiao, C. (2018). Typical Applications of Airborne LiDAR Technology in Geological Investigation. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII–3, 2459–2463. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-2459-2018>
- Zhu, L., Shortridge, A. M., & Lusch, D. (2012). Conflating LiDAR data and multispectral imagery for efficient building detection. *Journal of Applied Remote Sensing*, 6(1), 19. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.6.063602>
- Zlinszky, A., Schroiff, A., Kania, A., Deák, B., Mücke, W., Vári, Á., Székely, B., & Pfeifer, N. (2014). Categorizing Grassland Vegetation with Full-Waveform Airborne Laser Scanning: A Feasibility Study for Detecting Natura 2000 Habitat Types. *Remote Sensing*, 6(9), 8056–8087. <https://doi.org/10.3390/rs6098056>



## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Hermelin, © F. Grazioli.....	7
Abb. 2: Mauswiesel, © R. Rodrigues.....	7
Abb. 3: Querschnitt eines neu erstellten Asthaufens mit Aufzuchtammer (Boschi et al., 2018)....	10
Abb. 4: Asthaufen in Waldrandnähe, Hohentannen TG (Inauen, 2020).....	11
Abb. 5: Funktionsweise ALS (Nyffeler, 2018).....	13
Abb. 6: Prozessmodell von Krause et al. (2010) .....	15
Abb. 7: Prozessmodell von Riley (2009) .....	15
Abb. 8: Untersuchungsgebiet, erstellt mit ArcGIS Pro (Inauen, 2020) .....	18
Abb. 9: Beispiel eines überdeckten Asthaufens, Vegetation ausgeblendet. «strktr» 4 ist in der Mitte des Bildes zu sehen.....	20
Abb. 10: Beispiel eines freistehenden Asthaufens. «strktr» 27 ist in der Mitte des Bildes zu sehen .....	20
Abb. 11: Beispiel für einen Asthaufen mit Wert 23 als dominante Klasse, da ähnlich grosser Anteil Boden- und Vegetationspunkte. «strktr_d» 322 .....	20
Abb. 12: Beispiel für einen Asthaufen mit Wert partially, da ansatzweise erkennbar. «strktr_d» 17 .....	20
Abb. 13: Übersicht Vorgehensmodell für das Tool «constrained LAS to piles», erstellt mit diagrams.net.....	21
Abb. 14: Teil 1 des Workflows «constrained LAS to DEM nDSM» .....	24
Abb. 15: Anwendung der Oberflächenbeschränkungslayer auf «Create LAS Dataset».....	24
Abb. 16: Einstellungen «LAS Dataset To Raster» .....	25
Abb. 17: Teil 2 des Workflows «constrained LAS to DEM nDSM» .....	26
Abb. 18: Beispiel DEM, Kachel 2690_1233.....	26
Abb. 19: Beispiel nDSM, Kachel 2690_1233.....	26
Abb. 20: Teil 1 des Tools «segmented nDSM to points» .....	28
Abb. 21: Teil 2 des Tools «segmented nDSM to points» .....	28
Abb. 22: Teil 3 des Tools «segmented nDSM to points» .....	29
Abb. 23: Luftbild des Untersuchungsgebiets im Massstab 1:1000 (GIS ZH, 2015).....	29
Abb. 24: Oberflächenbeschränktes nDSM, generiert mit Workflow in Kapitel 3.4.1. nDSM Stretch Type «Histogram Equalize» für erhöhten Kontrast der Objekte.....	29
Abb. 25: Segmentiertes nDSM anhand Segmentierungsmethode über die «Classification Tools». «Spectral» und «Spatial detail» auf Standardeinstellung, «Minimum segment size in pixels» 50 ..	30
Abb. 26: Output des Tools «segmented nDSM to points». Im Westen ein falsch klassifizierter kleiner Schuppen, dessen Masse die genannten Kriterien erfüllen .....	30
Abb. 27: Segmentierung anhand des Tools «Segment Mean Shift». Trotz identischer Einstellungen ergeben sich unterschiedliche Ergebnisse, erkennbar an der Anzahl Segmente. Auch im Esri	

Community Forum konnte dafür keine Erklärung gefunden werden .....	31
Abb. 28: Asthaufen «strktr_d 295» nach der nDSM-Reklassifizierung.....	32
Abb. 29: Asthaufen «strktr_d 295» nach Abfolge «Expand»«Shrink .....	32
Abb. 30: Teil 1 des Tools «detached» .....	32
Abb. 31: Teil 2 des Tools «detached» .....	33
Abb. 32: Einzelne, fehlerhaft interpolierte Pixel .....	34
Abb. 33: Raster nach der Stufe «Expand» «Shrink», überlagert mit den daraus resultierenden, fehlerhaften Polygonen nach der Kantenglättungsstufe .....	34
Abb. 34: Beispiel Waldrand 2D. Fehlerhafte Polygone werden mittels PP exkludiert .....	35
Abb. 35: Beispiel Waldrand 3D. Fehlerhafte Polygone werden mittels PP exkludiert .....	35
Abb. 36: Berechnung PP.....	35
Abb. 37: Teil 3 des Tools «detached» .....	36
Abb. 38: Teil 1 des Tools «covered» .....	37
Abb. 39: Teil 2 des Tools «covered» .....	37
Abb. 40: Teil 3 des Tools «covered» .....	38
Abb. 41: Reklassifizierung der Exposition .....	38
Abb. 42: Reklassifizierung relevanter Rasterzellen .....	38
Abb. 43: 3D Ansicht Punktwolke mit Ausgabepolygon. «strktr_d» 157, 158 und 159 .....	41
Abb. 44: 2D Ansicht Ausgabepolygon. «strktr_d» 157, 158 und 159.....	41
Abb. 45: Beispiel Grüental. Beschriftete Referenzpunkte, «Surface Constraints» in Grün, Outputlayer in violett .....	42
Abb. 46: Beispiel für überdeckte Asthaufen, welche aufgrund Punkteklassifizierung von beiden Tools nicht erkannt werden. «strktr» 308 .....	44
Abb. 47: Beispiel unterschiedliche Punkteklassifizierung. «strktr» 138.....	44
Abb. 48: Beispiel Hangkante, südliche Ansicht, «strktr_d» 10.....	45
Abb. 49: Beispiel Hangkante, nördliche Profilansicht derselben Stelle, «strktr_d» 10.....	45
Abb. 50: Asthaufen «strktr» 120 in Böschung .....	46
Abb. 51: 2D Ansicht «strktr_d» 258. Violett der Layer «Buffer2_covered», unterlagert mit Layer «Sum» .....	47
Abb. 52: 3D Ansicht «strktr_d» 258.....	47
Abb. 53: Beispiel Loch in Polygon. Slope zu gering => PP zu gering. «strktr» 262.....	47
Abb. 54: Beispiel Loch in Polygon, 3D Ansicht. «strktr» 262 .....	47
Abb. 55: Beispiel «Expand»«Shrink». Aus zwei Haufen wird ein Polygon. «strktr» 49 .....	48
Abb. 56: Beispiel «Expand»«Shrink», 3D Ansicht. «strktr» 49.....	48
Abb. 57: Als Asthaufen extrahierte quadratische Heckenstrukturen auf dem Gartenareal des Campus Grüental.....	49
Abb. 58: 3D Ansicht derselben Stelle .....	49

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Auszug aus Produktinfo swissSURACE3D, angepasst. * Amerikanische Gesellschaft für Fotogrammetrie und Fernerkundung (ASPRS) (swisstopo, 2019) .....	16
Tab. 2: Übersicht verwendete Daten .....	17
Tab. 3: Übersicht Attribute qualitative Datenanalyse .....	19
Tab. 4: Übersicht Objektarten, Auszug Objektkatalog swissTLM3D 1.4 (swisstopo, 2016) .....	22
Tab. 5: Anzahl Asthaufen des Referenzdatensatzes pro Attribut.....	39
Tab. 6: Übersicht Attribute Auswertung Tool .....	40
Tab. 7: Anzahl Asthaufen des Referenzdatensatzes pro Attribut.....	40

## **Anhangsverzeichnis**

Anhang I	Plagiatserklärung
Anhang II	Tool-Abbildungen
Anhang III	Liste Referenzdatensatz

## Anhang I – Plagiatserklärung

Zürcher Hochschule  
für Angewandte Wissenschaften



Life Sciences und  
Facility Management

### **Erklärung betreffend das selbständige Verfassen einer Bachelorarbeit im Departement Life Sciences und Facility Management**

Mit der Abgabe dieser Bachelorarbeit versichert der/die Studierende, dass er/sie die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst hat.

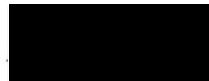
Der/die unterzeichnende Studierende erklärt, dass alle verwendeten Quellen (auch Internetseiten) im Text oder Anhang korrekt ausgewiesen sind, d.h. dass die Bachelorarbeit keine Plagiate enthält, also keine Teile, die teilweise oder vollständig aus einem fremden Text oder einer fremden Arbeit unter Vorgabe der eigenen Urheberschaft bzw. ohne Quellenangabe übernommen worden sind.

Bei Verfehlungen aller Art treten Paragraph 39 und Paragraph 40 der Rahmenprüfungsordnung für die Bachelor- und Masterstudiengänge an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften vom 29. Januar 2008 sowie die Bestimmungen der Disziplinarmaßnahmen der Hochschulordnung in Kraft.

Ort, Datum:

*Wängi, 2. Juli 2020*

Unterschrift:

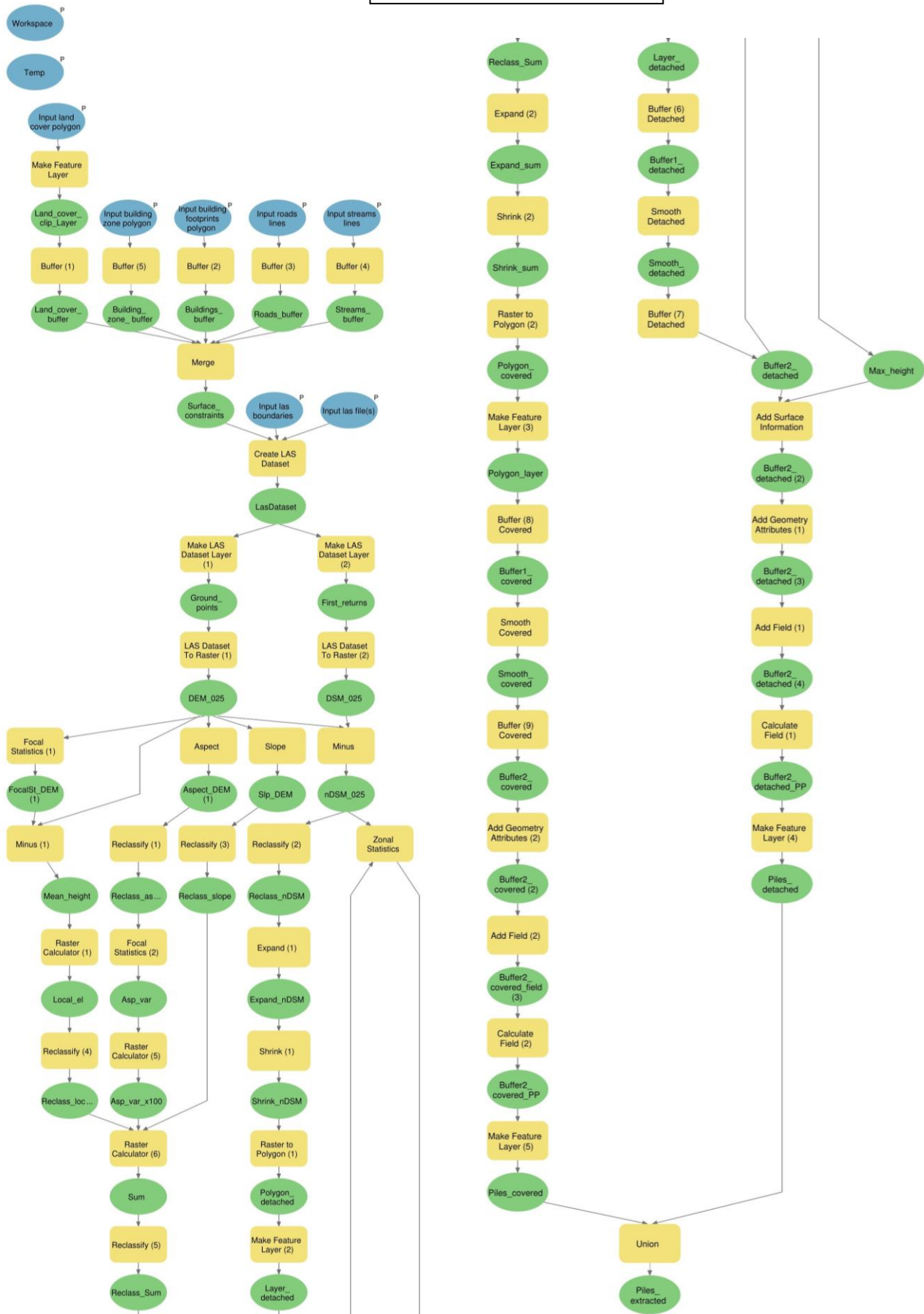


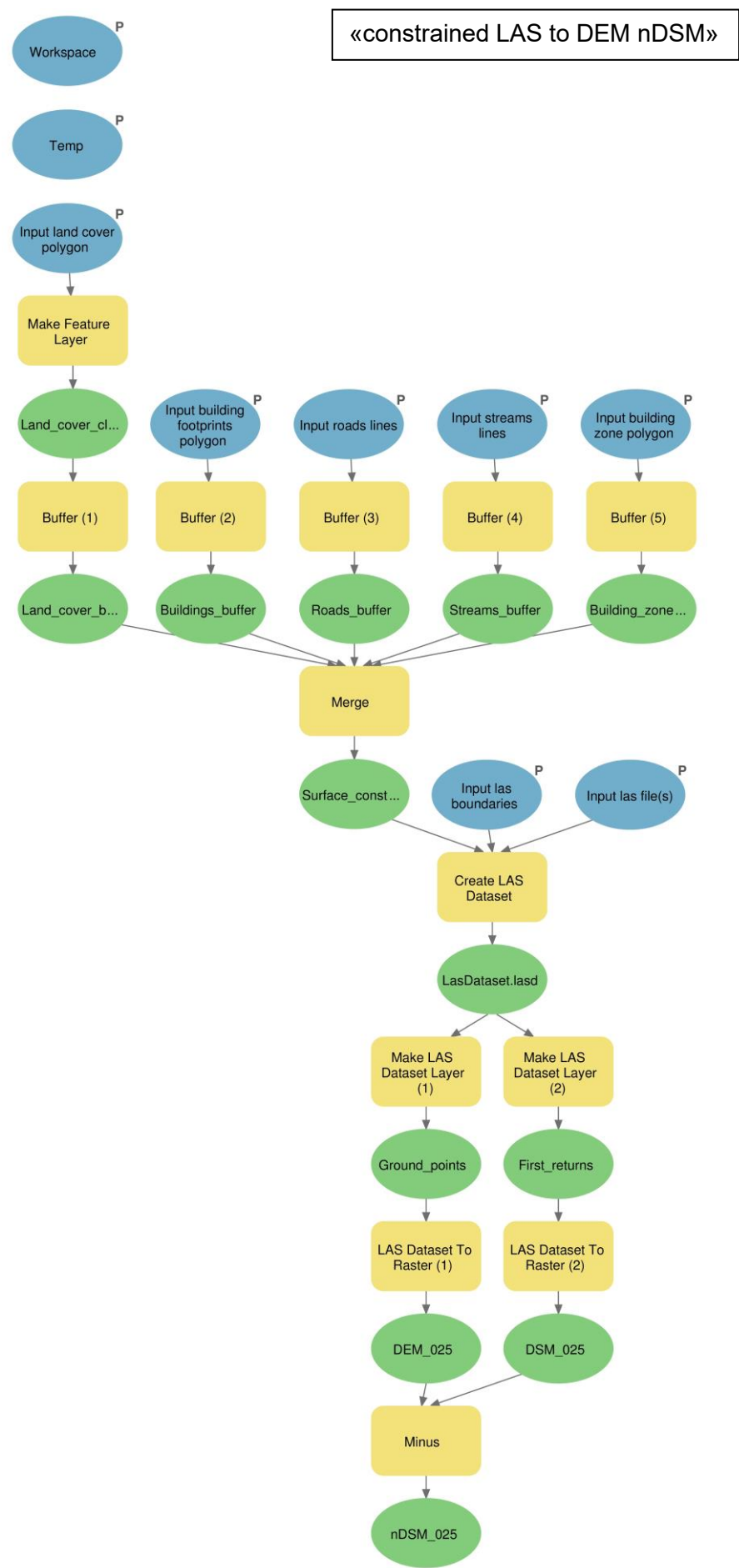
Das Original dieses Formulars ist bei der ZHAW-Version aller abgegebenen Bachelorarbeiten im Anhang mit Original-Unterschriften und -Datum (keine Kopie) einzufügen.

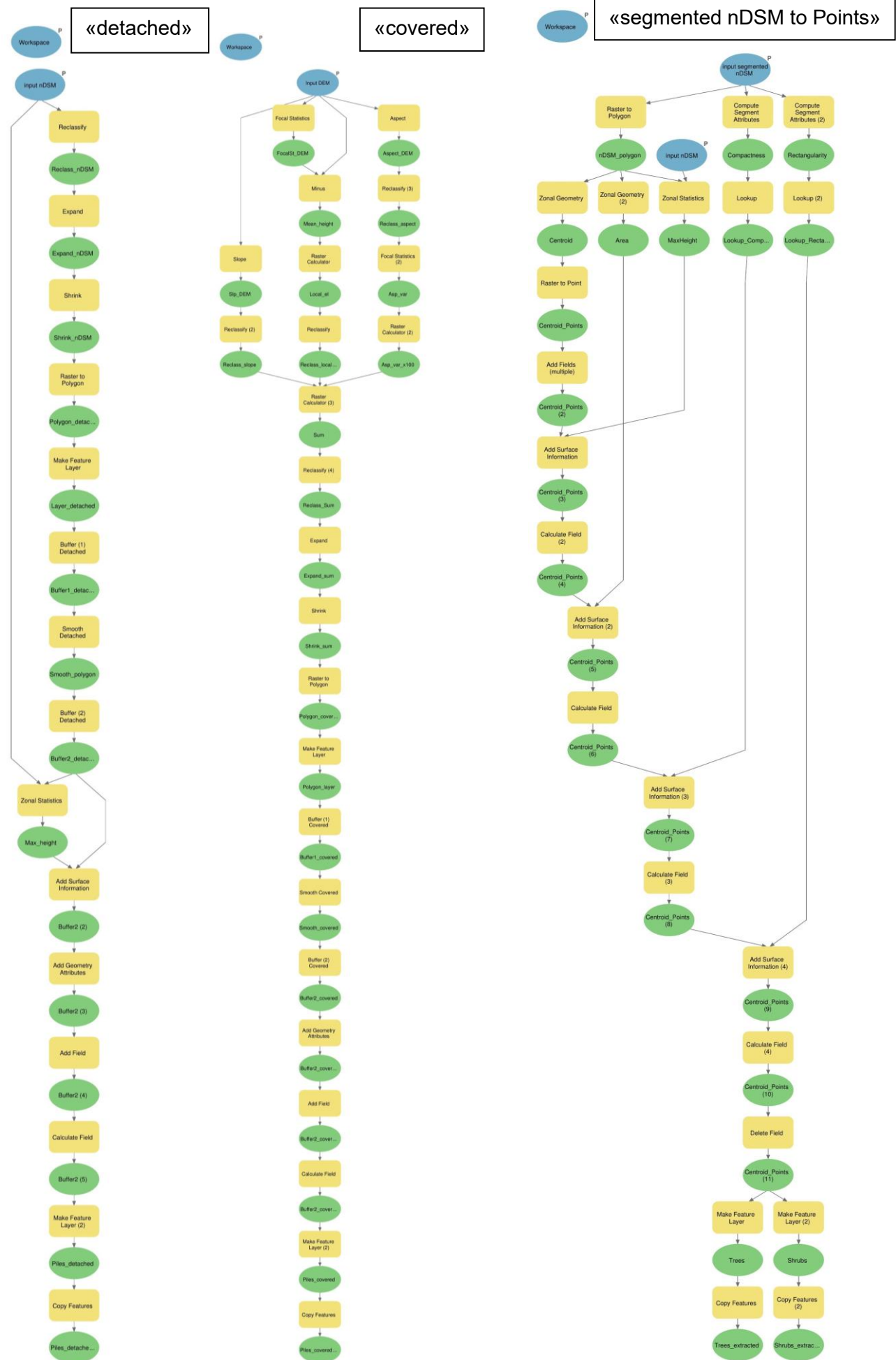


## Anhang II - Tool-Abbildungen

«constrained LAS to piles»







## Anhang III - Liste Referenzdatensatz

strktr_d	strktr_t	bbschrbn	Tilekey	datum	GPSTmAU	p_in_LIDAR	dom_class	detached	p_in_tool	cause
1	Asthaufen	NULL	2687_1233	22.01.2016	03.04.2018	y		2 n	y	
2	Asthaufen	NULL	2687_1233	22.01.2016	03.04.2018	y		23 n	y	
3	Asthaufen	NULL	2686_1236	05.02.2016	02.04.2018	y		23 n	y	
4	Asthaufen	NULL	2686_1236	05.02.2016	02.04.2018	y		2 n	y	
7	Asthaufen	NULL	2686_1236	05.02.2016	02.04.2018	y		2 n	y	
8	Asthaufen	NULL	2691_1230	09.02.2016	14.03.2018	allo		2 n	n	allo
9	Asthaufen	NULL	2691_1230	09.02.2016	14.03.2018	y		2 n	y	
10	Asthaufen	nur noch flaches Gestruemp	2691_1230	09.02.2016	14.03.2018	y		3 n	n	class
11	Asthaufen	NULL	2691_1230	10.02.2016	14.03.2018	y		2 n	y	
13	Asthaufen	NULL	2692_1229	19.03.2016	14.03.2018	y		1 y	y	
15	Asthaufen	NULL	2691_1229	27.02.2016	14.03.2018	y		3 n	n	class
17	Asthaufen	Wurzelstoecke, wenig Aeste drueber	2690_1231	11.03.2016	25.03.2018	part		3 n	n	class
18	Asthaufen	NULL	2693_1225	15.03.2016	15.03.2018	y		2 y	y	
20	Asthaufen	Kein Ah mehr da	2694_1229	08.04.2016	14.03.2018	part		2 n	n	constraint
21	Asthaufen	Kein Ah mehr da	2694_1229	08.04.2016	14.03.2018	allo		2 n	n	allo
22	Asthaufen	Kein Ah mehr da	2694_1229	08.04.2016	14.03.2018	y		2 n	y	
27	Asthaufen	NULL	2692_1229	04.01.2015	14.03.2018	y		1 y	y	
28	Asthaufen	NULL	2692_1229	04.01.2015	14.03.2018	y		1 y	y	
29	Asthaufen	2. Kontrolle schon im April 2019 erfolgt, ev nochmals vorbeischauchen im Winter 19/20	2692_1230	14.12.2015	14.03.2018	y		23 n	y	
30	Asthaufen	2. Kontrolle schon im April 2019 erfolgt, ev nochmals vorbeischauchen im Winter 19/20	2692_1230	14.12.2015	14.03.2018	y		2 n	y	
32	Asthaufen	NULL	2690_1232	05.02.2016	04.04.2018	y		2 n	y	
33	Asthaufen	NULL	2690_1232	05.02.2016	04.04.2018	y		23 n	y	
34	Asthaufen	NULL	2691_1229	13.03.2016	14.03.2018	n		2 n	n	pp
35	Asthaufen	NULL	2691_1229	13.03.2016	14.03.2018	y		23 n	y	
36	Asthaufen	NULL	2691_1229	13.03.2016	14.03.2018	y		2 n	y	
37	Asthaufen	NULL	2691_1229	13.03.2016	14.03.2018	y		2 n	y	
39	Asthaufen	Waldrand Bachmann-Wiese; schoen ergaenzt	2695_1229	05.04.2016	14.03.2018	part		23 n	n	bz
40	Asthaufen	Waldrand Bachmann-Wiese; schoen ergaenzt	2695_1229	05.04.2016	14.03.2018	y		2 n	n	bz
41	Asthaufen	NULL	2687_1233	22.01.2016	03.04.2018	y		2 n	y	
42	Asthaufen	NULL	2687_1233	22.01.2016	03.04.2018	y		3 n	n	class
43	Asthaufen	NULL	2687_1233	22.01.2016	03.04.2018	y		23 n	y	
44	Asthaufen	NULL	2687_1233	22.01.2016	03.04.2018	y		23 n	y	
45	Asthaufen	NULL	2690_1233	12.02.2016	03.04.2018	y		23 n	y	
46	Asthaufen	NULL	2690_1233	12.02.2016	03.04.2018	y		23 n	n	pp
47	Asthaufen	NULL	2690_1233	12.02.2016	03.04.2018	part		23 n	y	
48	Asthaufen	Schnittgut auf und nicht neben Ah legen	2690_1231	11.03.2016	25.03.2018	part		23 n	n	pp
49	Asthaufen	NULL	2690_1231	11.03.2016	25.03.2018	y		23 n	n	pp
50	Asthaufen	NULL	2690_1231	11.03.2016	25.03.2018	y		23 n	y	
51	Asthaufen	NULL	2690_1231	11.03.2016	25.03.2018	y		3 n	n	class
52	Asthaufen	NULL	2689_1233	11.03.2016	03.04.2018	y		2 n	y	
54	Asthaufen	NULL	2689_1233	11.03.2016	03.04.2018	y		2 n	y	
58	Asthaufen	aufgestockt	2694_1230	19.03.2016	14.03.2018	y		2 n	y	
59	Asthaufen	leicht aufgestockt, teils daneben...	2694_1230	19.03.2016	14.03.2018	y		2 n	y	
61	Asthaufen	NULL	2692_1225	01.04.2016	15.03.2018	y		2 n	y	
64	Asthaufen	NULL	2692_1230	14.04.2016	14.03.2018	y		23 n	y	
65	Asthaufen	NULL	2692_1230	14.04.2016	14.03.2018	y		2 n	n	constraint
66	Asthaufen	NULL	2692_1230	14.04.2016	14.03.2018	y		2 n	n	pp
67	Asthaufen	Aeste nachlegen	2692_1230	14.04.2016	14.03.2018	y		2 n	n	pp
68	Asthaufen	NULL	2692_1230	14.04.2016	14.03.2018	y		23 n	y	
69	Asthaufen	Position verifizieren	2691_1232	17.04.2016	04.04.2018	y		3 n	n	class
70	Asthaufen	Position verifizieren	2691_1232	17.04.2016	04.04.2018	y		3 n	n	class

strktr_d	strktr_t	bschrbn	TileKey	datum	GPSTmAU	p_in_LIDAR	dom_class	detached	p_in_tool	cause
71	Asthaufen	NULL	2686_1236	20.03.2017	02.04.2018	y		2 in	n	bz
72	Asthaufen	NULL	2686_1236	20.03.2017	02.04.2018	y		2 n	n	bz
112	Asthaufen	Ist nicht mehr vorhanden	2684_1235	01.04.2016	03.04.2018	n				
113	Asthaufen	Nicht mehr vorhanden	2684_1235	01.04.2016	03.04.2018	n				
114	Asthaufen	Neu aufstocken fuer Bonus, ist zerfallen	2684_1235	01.04.2016	03.04.2018	y		2 in	y	
115	Asthaufen	NULL	2684_1235	01.04.2016	03.04.2018	y		2 n	y	
120	Asthaufen	NULL	2692_1230	14.04.2016	14.03.2018	y		2 in	n	aspect
121	Asthaufen	NULL	2692_1230	14.04.2016	14.03.2018	y		23 n	n	constraint
124	Asthaufen	NULL	2691_1231	17.04.2016	25.03.2018	y		2 in	y	
125	Asthaufen	NULL	2691_1231	17.04.2016	25.03.2018	y		2 n	y	
126	Asthaufen	Maerz 2019: Sabina stellt vor Ort Bonusanrecht fest	2690_1232	20.04.2016	04.04.2018	y		2 in	y	
127	Asthaufen	Maerz 2019: Sabina stellt vor Ort Bonusanrecht fest	2690_1232	20.04.2016	04.04.2018	y		2 n	y	
133	Asthaufen	Ah in Ordnung; Sh 100m weg von Autobahn ist im Aufbau; hat StK mit Edwin besprochen	2691_1231	01.11.2016	25.03.2018	y		12 y	y	
137	Asthaufen	Eschenstock mit Schnittgut	2683_1240	01.01.2017	02.04.2018	n				
138	Asthaufen	NULL	2691_1229	20.03.2017	14.03.2018	y		3 in	y	
139	Asthaufen	am Bach	2689_1234	01.02.2017	03.04.2018	y		3 n	n	class
140	Asthaufen	horgenwaerts unter Fichte	2689_1234	01.02.2017	03.04.2018	y		23 in	y	
141	Asthaufen	in Hochhecke bei Stallung	2690_1230	25.01.2017	14.03.2018	y		2 n	y	
142	Asthaufen	oberer Teil Hochhecke im Steinhang	2690_1230	25.01.2017	14.03.2018	y		2 in	y	
143	Asthaufen	oberhalb Viehpfad in Hochhecke im Steinhang	2690_1230	25.01.2017	14.03.2018	y		2 n	y	
144	Asthaufen	Im Ufergehoelz nahe Waggitalweg	2691_1230	25.01.2017	14.03.2018	y		2 in	y	
145	Asthaufen	Im Ufergehoelz Bucht zwischen Riet und Waggitalweg	2690_1230	25.01.2017	14.03.2018	y		2 n	y	
146	Asthaufen	in Hecke oder auf Wiese?	2688_1230	10.01.2017	14.03.2018	n				
147	Asthaufen	NULL	2690_1232	05.02.2016	04.04.2018	y		23 n	y	
148	Asthaufen	NULL	2690_1232	05.02.2016	04.04.2018	y		2 in	y	
149	Asthaufen	NULL	2690_1232	05.02.2016	04.04.2018	y		2 n	y	
150	Asthaufen	Wurzelstoেকে	2690_1232	05.02.2016	04.04.2018	y		2 n	y	
151	Asthaufen	NULL	2685_1233	23.03.2016	03.04.2018	n				
152	Asthaufen	NULL	2685_1233	23.03.2016	03.04.2018	y		2 in	y	
153	Asthaufen	NULL	2685_1233	23.03.2016	03.04.2018	y		2 n	y	
154	Asthaufen	NULL	2685_1233	23.03.2016	03.04.2018	y		2 y	y	
155	Asthaufen	NULL	2685_1233	23.03.2016	03.04.2018	y		2 n	y	
156	Asthaufen	NULL	2685_1233	23.03.2016	03.04.2018	y		2 in	y	
157	Asthaufen	NULL	2685_1233	23.03.2016	03.04.2018	y		2 y	y	
158	Asthaufen	NULL	2685_1233	23.03.2016	03.04.2018	y		2 y	y	
159	Asthaufen	NULL	2685_1233	23.03.2016	03.04.2018	y		2 n	y	
160	Asthaufen	neu aufstocken fuer Bonus, ist zerfallen	2684_1235	01.04.2016	03.04.2018	y		2 in	y	
163	Asthaufen	neu aufstocken fuer Bonus, ist zerfallen	2684_1235	01.04.2016	03.04.2018	y		2 n	y	
164	Asthaufen	Neu aufstocken fuer Bonus, ist zerfallen	2684_1235	01.04.2016	03.04.2018	y		2 n	y	
165	Asthaufen	neu aufstocken fuer Bonus, ist sehr zerfallen	2684_1235	01.04.2016	03.04.2018	y		2 n	y	
166	Asthaufen	NULL	2685_1237	02.04.2017	02.04.2018	y		2 y	y	
167	Asthaufen	NULL	2691_1229	01.04.2016	14.03.2018	part		3 n	n	class
168	Asthaufen	NULL	2691_1229	01.04.2016	14.03.2018	y		2 in	y	
169	Asthaufen	NULL	2691_1229	01.04.2016	14.03.2018	y		2 n	y	
171	Asthaufen	NULL	2691_1229	20.03.2015	14.03.2018	y		2 in	y	
173	Asthaufen	NULL	2691_1230	17.03.2012	14.03.2018	y		2 n	y	
174	Asthaufen	NULL	2691_1230	17.03.2012	14.03.2018	y		2 in	y	
175	Asthaufen	NULL	2691_1230	17.03.2012	14.03.2018	y		2 n	y	
176	Asthaufen	NULL	2691_1230	17.03.2012	14.03.2018	part		2 in	y	
177	Asthaufen	NULL	2691_1229	17.03.2012	14.03.2018	n				
178	Asthaufen	NULL	2691_1229	18.05.2012	14.03.2018	y		2 in	y	
179	Asthaufen	NULL	2691_1229	18.05.2012	14.03.2018	y		2 n	y	

strktr_d	strktr_t	bschrnb	TileKey	datum	GPSTmAU	p_in_LIDAR	dom_class	detached	p_in_tool	cause
180	Asthaufen	NULL	2691_1229	18.05.2012	14.03.2018	y		2 n	y	
181	Asthaufen	NULL	2691_1229	18.05.2012	14.03.2018	y		2 n	y	
182	Asthaufen	NULL	2691_1229	18.05.2012	14.03.2018	y		2 n	y	
183	Asthaufen	NULL	2691_1229	18.05.2012	14.03.2018	part		2 n	n	constraint
185	Asthaufen	NULL	2690_1230	15.03.2015	14.03.2018	y		2 n	y	
186	Asthaufen	NULL	2690_1230	15.03.2015	14.03.2018	y		2 n	y	
190	Asthaufen	NULL	2690_1230	15.03.2015	14.03.2018	part		2 n	n	allo
192	Asthaufen	NULL	2691_1230	16.11.2017	14.03.2018	y		3 n	n	class
194	Asthaufen	NULL	2691_1230	16.11.2017	14.03.2018	y		3 n	n	class
197	Asthaufen	Wurzelstoecke neben bestehendem Ah von 2015	2691_1230	16.11.2017	14.03.2018	part		2 n	y	
201	Asthaufen	25.02.16; Asthaufen mit Nistkammer fuer Hermelin;	2685_1234	25.02.2016	03.04.2018	n				
202	Asthaufen	25.02.16; Asthaufen mit Nistkammer fuer Hermelin;	2685_1234	25.02.2016	03.04.2018	allo		2 n	n	allo
203	Asthaufen	bei Drainagerohre, viele Brombeeren	2691_1230	16.04.2016	14.03.2018	y		2 n	y	
204	Asthaufen	Nahe Grenze Schroth, viele Brombeeren	2691_1230	16.04.2016	14.03.2018	y		2 n	y	
205	Asthaufen	NULL	2690_1230	08.02.2018	14.03.2018	y		23 n	y	
206	Asthaufen	NULL	2693_1230	10.03.2018	14.03.2018	y		2 n	n	bz
207	Asthaufen	NULL	2694_1230	10.03.2018	14.03.2018	y		2 n	n	bz
208	Asthaufen	NULL	2694_1230	10.03.2018	14.03.2018	y		2 n	n	bz
209	Asthaufen	NULL	2691_1231	16.11.2017	25.03.2018	y		23 n	y	
210	Asthaufen	NULL	2691_1231	16.11.2017	25.03.2018	y		23 n	n	pp
211	Asthaufen	in Boeschung bei grosser Esche	2690_1230	24.06.2017	14.03.2018	y		2 n	y	
212	Asthaufen	NULL	2690_1230	24.06.2017	14.03.2018	n				
213	Asthaufen	Wurzelstock-Pruegel-Struktur	2690_1230	24.06.2017	14.03.2018	y		2 n	y	
219	Asthaufen	NULL	2692_1229	06.04.2017	14.03.2018	y		3 y	y	
220	Asthaufen	mit Wurzelstoecken	2692_1229	06.04.2017	14.03.2018	y		1 y	y	
221	Asthaufen	grosser Wurzelstock; zaehlt zusammen mit jenem in der anderen Rennbahnnecke als 1 Ah	2692_1229	06.04.2017	14.03.2018	y		1 y	n	size
223	Asthaufen	mit Wurzelstoecken und Roehren	2692_1229	06.04.2017	14.03.2018	y		1 y	n	pp
225	Asthaufen	Maerz 2019: Sabina stellt vor Ort Bonusanrecht fest	2690_1232	01.04.2017	04.04.2018	y		1 n	y	
226	Asthaufen	Maerz 2019: Sabina stellt vor Ort Bonusanrecht fest	2690_1232	01.04.2017	04.04.2018	y		2 n	y	
227	Asthaufen	inzwischen etwas aufgestockt	2694_1228	08.04.2017	14.03.2018	y		2 n	n	pp
229	Asthaufen	oberhalb inzwischen zusätzlicher Haufen ohne Nistkammer	2694_1228	08.04.2017	14.03.2018	y		23 n	y	
231	Asthaufen	mit Wurzelstoecken	2694_1228	05.04.2016	14.03.2018	y		23 n	y	
232	Asthaufen	NULL	2692_1231	18.03.2017	25.03.2018	y		2 n	y	
233	Asthaufen	NULL	2692_1231	18.03.2017	25.03.2018	y		1 y	n	pp
234	Asthaufen	NULL	2693_1231	18.03.2017	25.03.2018	y		2 y	y	
235	Asthaufen	NULL	2692_1226	11.03.2017	15.03.2018	y		23 n	n	constraint
236	Asthaufen	NULL	2692_1226	11.03.2017	15.03.2018	y		2 n	y	
237	Asthaufen	NULL	2692_1226	11.03.2017	15.03.2018	y		2 n	y	
239	Asthaufen	ssj: da liegen ein paar Aeste rum. stk 29.6.19: wurde abgebaut und Astmaterial fuer Holzhuette verwendet	2691_1227	11.02.2017	14.03.2018	y		2 n	y	
240	Asthaufen	ssj: westseitig am Weiher. Eher ein Astgllu. stk 29.6.19: wurde abgebaut und Astmaterial fuer Holzhuette verwendet	2691_1227	11.02.2017	14.03.2018	y		2 n	y	
241	Asthaufen	NULL	2691_1227	11.02.2017	14.03.2018	y		2 n	y	
242	Asthaufen	NULL	2691_1233	09.05.2017	03.04.2018	part		2 n	n	bz
243	Asthaufen	NULL	2691_1233	15.03.2017	03.04.2018	y		3 n	n	bz
244	Asthaufen	NULL	2691_1233	15.03.2017	03.04.2018	y		2 n	n	bz
245	Asthaufen	am Fuss von Swissgrid Mast	2690_1230	15.03.2017	14.03.2018	y		2 n	y	
246	Asthaufen	am Chottenbach	2690_1230	15.03.2017	14.03.2018	y		2 n	y	
247	Asthaufen	am Chottenbach	2690_1230	15.03.2017	14.03.2018	y		2 n	y	
249	Asthaufen	Standort gesichert	2691_1233	04.02.2017	03.04.2018	y		2 n	y	
251	Asthaufen	Standort gesichert	2691_1233	04.02.2017	03.04.2018	allo		2 n	n	allo
254	Asthaufen	im April 2019 zum xten und letzten Mal um Ruecksendung der Vereinbarung gebeten	2690_1233	04.02.2017	03.04.2018	y		2 n	y	
255	Asthaufen	im April 2019 zum xten und letzten Mal um Ruecksendung der Vereinbarung gebeten	2690_1233	04.02.2017	03.04.2018	y		1 n	n	class
256	Asthaufen	NULL	2691_1230	09.02.2016	14.03.2018	part		23 n	y	



strktr_d	strktr_t	bschrbn	TileKey	datum	GPSTmAU	p_in_LIDAR	dom_class	detached	p_in_tool	cause
257	Asthaufen	NULL	2691_1230	09.02.2016	14.03.2018	allo		2 n	n	allo
258	Asthaufen	NULL	2691_1230	09.02.2016	14.03.2018	y		2 n	n	pp
259	Asthaufen	25.02.16; Asthaufen mit Niskammer fuer Hermelin; nicole.aebli@wildnispark.ch	2685_1234	25.02.2016	03.04.2018	n				
261	Asthaufen	NULL	2692_1225	01.04.2016	15.03.2018	y		2 n	y	
262	Asthaufen	NULL	2692_1225	01.04.2016	15.03.2018	y		2 n	n	pp
263	Asthaufen	NULL	2692_1225	01.04.2016	15.03.2018	y		2 n	n	pp
264	Asthaufen	NULL	2692_1225	01.04.2016	15.03.2018	y		2 n	y	
265	Asthaufen	schon recht flach, Bromeeerbewuchs tolerierbar	2695_1230	29.04.2017	14.03.2018	y		2 n	n	pp
267	Asthaufen	an Fuss von grosser Laerche; stark zusammengefallen, sollte hoeher sein; Feb 2020: ist inexistent	2694_1230	29.04.2017	14.03.2018	y		2 n	n	pp
268	Asthaufen	NULL	2685_1236	24.11.2017	02.04.2018	y		2 n	y	
269	Asthaufen	NULL	2694_1230	28.03.2015	14.03.2018	n				
270	Asthaufen	NULL	2694_1230	28.03.2015	14.03.2018	y		3 n	n	class
273	Asthaufen	NULL	2692_1230	10.01.2018	14.03.2018	y		2 n	y	
274	Asthaufen	NULL	2692_1230	10.01.2018	14.03.2018	y		23 n	y	
275	Asthaufen	NULL	2692_1230	10.01.2018	14.03.2018	part		3 n	n	class
278	Asthaufen	NULL	2686_1236	03.02.2018	02.04.2018	y		2 n	y	
279	Asthaufen	NULL	2686_1236	03.02.2018	02.04.2018	y		3 n	n	class
280	Asthaufen	NULL	2690_1230	08.02.2018	14.03.2018	y		2 n	y	
281	Asthaufen	NULL	2690_1230	08.02.2018	14.03.2018	y		2 y	y	
282	Asthaufen	NULL	2690_1230	08.02.2018	14.03.2018	y		23 n	y	
283	Asthaufen	NULL	2690_1230	08.02.2018	14.03.2018	y		2 n	y	
284	Asthaufen	NULL	2686_1236	03.02.2018	02.04.2018	y		2 n	y	
285	Asthaufen	NULL	2694_1230	10.03.2018	14.03.2018	y		2 n	n	bz
287	Asthaufen	NULL	2693_1230	10.03.2018	14.03.2018	allo		2 n	n	bz
288	Asthaufen	NULL	2694_1230	10.03.2018	14.03.2018	y		3 n	n	bz
289	Asthaufen	NULL	2694_1230	10.03.2018	14.03.2018	y		2 n	n	bz
290	Asthaufen	NULL	2691_1226	03.03.2018	15.03.2018	y		12 n	y	
291	Asthaufen	NULL	2691_1226	03.03.2018	15.03.2018	allo		2 n	n	allo
292	Asthaufen	NULL	2691_1226	03.03.2018	15.03.2018	y		3 n	n	class
293	Asthaufen	NULL	2691_1226	12.12.2014	15.03.2018	y		3 y	y	
295	Asthaufen	NULL	2694_1230	10.03.2018	14.03.2018	y		3 y	y	
308	Asthaufen	NULL	2691_1226	03.03.2018	15.03.2018	y		3 n	n	class
313	Asthaufen	NULL	2694_1230	10.03.2018	14.03.2018	y		3 n	n	class
314	Asthaufen	NULL	2694_1230	10.03.2018	14.03.2018	y		3 y	n	bz
315	Asthaufen	NULL	2694_1230	10.03.2018	14.03.2018	y		1 y	n	bz
316	Asthaufen	NULL	2694_1230	10.03.2018	14.03.2018	y		1 y	n	bz
317	Asthaufen	NULL	2693_1230	10.03.2018	14.03.2018	y		1 n	n	bz
321	Asthaufen	beim Huehnerhof, nachtraeglich gemeldet; Vereinbarungsformular erfasst unter Roetibodenholz Ost !! / noch zu klein	2692_1231	10.01.2018	25.03.2018	allo		3 n	n	bz
322	Asthaufen	beim Huehnerhof, nachtraeglich gemeldet; Vereinbarungsformular erfasst unter Roetibodenholz Ost !! / noch zu klein	2692_1231	10.01.2018	25.03.2018	allo		23 n	n	bz
323	Asthaufen	suedoestlich Stall alt''''''''	2692_1231	17.03.2018	25.03.2018	y		3 n	y	
324	Asthaufen	noerdlich Haus neu''''''''	2692_1231	17.03.2018	25.03.2018	y		12 y	y	
325	Asthaufen	riesig, Iltis Nachweis	2689_1231	01.02.2016	25.03.2018	y		13 y	n	size
329	Asthaufen	Versand Vereinbarung ausstehend	2691_1229	18.08.2016	14.03.2018	y		2 n	y	
13954	Asthaufen	schon ziemlich gesetzt	2694_1228	08.04.2017	14.03.2018	y		23 n	y	
24346	Asthaufen	NULL	2682_1237	29.02.2016	02.04.2018	y		3 y	y	
27147	Asthaufen	forstlicher Haufen mit viel Stammholz	2695_1229	05.04.2016	14.03.2018	y		2 n	n	bz
27148	Asthaufen	forstlicher Haufen mit viel Stammholz	2695_1229	05.04.2016	14.03.2018	n				